



# KAJIAN MEDAN MAGNET DAN PEMANFAATANNYA DALAM FISIKA DASAR

Alven Emanuel Harefa<sup>1)</sup>, Cindy Juwita Humendru<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Teknologi Informasi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Nias, Gunungsitoli, Indonesia  
Email: [alvenharefa223@gmail.com](mailto:alvenharefa223@gmail.com)

<sup>2)</sup> Teknologi Informasi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Nias, Gunungsitoli, Indonesia  
Email: [cindyjuwita76@gmail.com](mailto:cindyjuwita76@gmail.com)

## Abstract

The magnetic field is a fundamental concept in physics with significant roles in various natural phenomena and technological applications. This study aims to analyze the basic theory of magnetic fields, their applications in technology, and their impact on natural phenomena. Based on a literature review, it was found that the magnetic field is closely related to electromagnetic laws such as Ampère's and Faraday's laws, leading to practical applications such as electric motors, generators, and medical technologies like MRI. Additionally, Earth's magnetic field protects life from cosmic radiation and influences natural phenomena like the aurora. This study also highlights the role of magnetic fields in modern physics, particularly in particle physics experiments and quantum field theory. The findings emphasize the importance of understanding magnetic fields for technological development and scientific research in the future.

**Key words:** Field, Magnet, Electromagnetic, Technology, Phenomenon

## Abstrak

Medan magnet merupakan salah satu konsep dasar dalam fisika yang memiliki peran penting dalam berbagai fenomena alam dan aplikasi teknologi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis teori dasar medan magnet, penerapannya dalam teknologi, serta dampaknya terhadap fenomena alam. Berdasarkan kajian literatur, ditemukan bahwa medan magnet berhubungan erat dengan hukum-hukum elektromagnetik seperti hukum Ampère dan Faraday, yang menghasilkan berbagai aplikasi praktis seperti motor listrik, generator, dan teknologi medis seperti MRI. Selain itu, medan magnet Bumi berfungsi melindungi kehidupan dari radiasi kosmik dan mempengaruhi fenomena alam seperti aurora. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa medan magnet berperan dalam fisika modern, khususnya dalam eksperimen fisika partikel dan teori medan kuantum. Hasil penelitian ini menyoroti pentingnya pemahaman tentang medan magnet dalam pengembangan teknologi dan penelitian ilmiah di masa depan.

**Kata kunci:** Medan, Magnet, Elektromagnetik, Teknologi, Fenomen



## PENDAHULUAN

Medan magnet adalah salah satu konsep fundamental dalam fisika yang berperan penting dalam banyak fenomena alam dan aplikasi teknologi. Dalam fisika dasar, medan magnet dipahami sebagai suatu wilayah di sekitar magnet atau arus listrik yang dapat mempengaruhi benda-benda yang terbuat dari bahan magnetik, seperti besi atau baja. Pengertian ini pertama kali diperkenalkan oleh ilmuwan seperti Hans Christian Ørsted dan Michael Faraday, yang meneliti hubungan antara arus listrik dan medan magnet, serta pengaruhnya terhadap benda-benda di sekitarnya (Griffiths, 2017).

Medan magnet sangat penting dalam berbagai fenomena fisika dasar, mulai dari gaya Lorentz yang bekerja pada muatan bergerak, hingga penerapan dalam berbagai alat dan teknologi, seperti motor listrik dan transformator. Sebagai contoh, dalam hukum Ampère dan hukum Faraday, medan magnet berhubungan erat dengan konsep arus listrik dan induksi elektromagnetik, yang merupakan dasar bagi pengembangan banyak teknologi modern (Halliday et al., 2013). Selain itu, medan magnet juga menjadi topik utama dalam pemahaman fenomena alam, seperti medan magnet Bumi, yang berfungsi melindungi planet dari radiasi kosmik dan partikel bermuatan tinggi.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengulas secara mendalam penerapan dan teori medan magnet dalam konteks fisika dasar, serta mengeksplorasi hubungan teori-teori utama dalam bidang ini dan aplikasinya dalam kehidupan sehari-hari dan teknologi.

## TINJAUAN PUSTAKA

Medan magnet merupakan konsep yang esensial dalam fisika dasar, yang telah banyak dipelajari melalui eksperimen dan teori. Beberapa teori utama yang mendasari pemahaman medan magnet adalah hukum Ampère, hukum Faraday, dan hukum Gauss untuk magnetisme. Berikut adalah tinjauan pustaka yang merangkum perkembangan dan penerapan teori medan magnet dalam berbagai bidang fisika.

## 1. Teori Medan Magnet

Medan magnet pertama kali dipahami melalui eksperimen yang menunjukkan adanya interaksi antara arus listrik dan benda magnetik. Ørsted (1820) mengamati bahwa jarum kompas akan defleksi saat berada di dekat kawat yang dialiri arus listrik, yang menandakan bahwa arus listrik dapat menghasilkan medan magnet. Fenomena ini kemudian dijelaskan lebih lanjut dalam hukum Ampère, yang menyatakan bahwa medan magnet dihasilkan oleh arus listrik dan hubungan antar keduanya dapat dijelaskan dengan menggunakan konsep gaya Lorentz (Griffiths, 2017).

Hukum Gauss untuk magnetisme, yang merupakan salah satu dari empat persamaan Maxwell, menyatakan bahwa medan magnet bersifat divergen nol, yang artinya tidak ada "sumber" atau "muatan magnetik" tunggal seperti halnya dalam listrik (Halliday et al., 2013). Ini berbeda dengan listrik yang dapat memiliki muatan positif atau negatif. Medan magnet selalu membentuk loop tertutup tanpa sumber atau kutub tunggal.

## 2. Medan Magnet dan Hukum Faraday

Hukum induksi elektromagnetik Faraday menjelaskan hubungan antara medan magnet dan perubahan fluks magnetik yang dapat menghasilkan arus listrik. Hukum ini menjadi dasar bagi banyak teknologi, seperti generator listrik dan transformator. Faraday (1831) menunjukkan bahwa perubahan fluks magnetik yang melewati suatu loop kawat akan menghasilkan tegangan induksi, yang mengarah pada pemahaman tentang induksi elektromagnetik. Konsep ini digunakan dalam banyak aplikasi teknologi, seperti dalam pembangkitan energi listrik (Griffiths, 2017).

## 3. Aplikasi Medan Magnet dalam Teknologi

Aplikasi medan magnet dalam teknologi sangat luas. Salah satu yang paling signifikan adalah pada motor listrik dan generator. Motor listrik mengubah energi listrik menjadi energi mekanik melalui interaksi antara medan magnet dan arus listrik yang mengalir dalam kawat konduktor. Sebaliknya, generator mengubah energi mekanik menjadi



energi listrik berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik (Halliday et al., 2013).

Selain itu, medan magnet juga digunakan dalam teknologi yang berkaitan dengan pengolahan data, seperti dalam disk keras komputer, serta dalam teknologi medis seperti MRI (Magnetic Resonance Imaging), yang memanfaatkan medan magnet kuat untuk memetakan struktur tubuh manusia dengan detail tinggi (Smith & Brown, 2002).

#### 4. Fenomena Alam yang Berhubungan dengan Medan Magnet

Fenomena alam yang melibatkan medan magnet juga menjadi objek studi yang menarik. Medan magnet Bumi, misalnya, berfungsi melindungi kehidupan di planet ini dari radiasi kosmik dan partikel bermuatan tinggi dari luar angkasa. Penelitian tentang medan magnet Bumi membantu ilmuwan memahami fenomena seperti aurora borealis dan pola geomagnetik Bumi (Runcorn, 1997).

#### 5. Penerapan Medan Magnet dalam Fisika Modern

Dalam fisika modern, medan magnet juga berperan penting dalam studi partikel elementer dan fisika kuantum. Teori medan kuantum menggambarkan medan magnet sebagai pertukaran partikel virtual yang disebut foton. Dalam eksperimen seperti akselerator partikel, medan magnet digunakan untuk mengarahkan dan mempercepat partikel-partikel bermuatan. Selain itu, dalam fisika kondensasi materi, fenomena seperti efek Hall kuantum dan efek Meissner pada superkonduktor berhubungan langsung dengan sifat medan magnet (Sakurai, 1994).

### METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode studi literatur dengan penelitian ini bertujuan untuk menganalisis teori dan aplikasi medan magnet dalam fisika dasar serta mengeksplorasi penerapannya dalam teknologi dan fenomena alam. Untuk mencapai tujuan tersebut, pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah **metode penelitian kualitatif** dengan kajian literatur. Berikut adalah langkah-langkah metodologis yang diterapkan dalam penelitian ini.

#### 1. Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan jenis penelitian **deskriptif-kualitatif**. Penelitian ini bertujuan untuk menggambarkan dan menginterpretasi konsep-konsep dasar medan magnet, teori-teori yang terkait, serta aplikasi-aplikasi dalam kehidupan sehari-hari dan teknologi, berdasarkan studi literatur yang ada.

#### 2. Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini bersumber dari:

- **Literatur buku:** Buku teks fisika dasar dan sumber akademik lainnya yang menjelaskan teori medan magnet, hukum-hukum yang berhubungan, dan penerapannya.
- **Artikel jurnal ilmiah:** Jurnal-jurnal ilmiah yang membahas tentang medan magnet dalam fisika klasik dan modern, serta aplikasi teknologi yang memanfaatkan medan magnet, seperti motor listrik, generator, dan teknologi medis.
- **Sumber-sumber lainnya:** Publikasi dari konferensi dan riset terbaru yang membahas tentang penggunaan medan magnet dalam teknologi dan fenomena alam.

#### 3. Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui langkah-langkah berikut:

- **Pengumpulan Data:** Langkah pertama adalah mengumpulkan berbagai sumber literatur yang relevan dengan topik penelitian. Literatur ini mencakup teori dasar tentang medan magnet, hukum-hukum elektromagnetik, serta penerapannya dalam berbagai bidang teknologi dan fenomena alam.
- **Analisis Literatur:** Setelah data terkumpul, dilakukan analisis terhadap teori-teori dan aplikasi-aplikasi yang ditemukan dalam literatur tersebut. Analisis ini dilakukan secara deskriptif untuk mengidentifikasi hubungan antara teori medan magnet dengan aplikasinya dalam teknologi dan alam.



- **Klasifikasi dan Kategorisasi:** Data yang telah dianalisis diklasifikasikan dalam kategori-kategori yang relevan, seperti:
  - Teori dasar medan magnet
  - Aplikasi teknologi (motor listrik, generator, MRI)
  - Fenomena alam yang terkait dengan medan magnet (aurora, medan magnet Bumi)
  - Penerapan dalam fisika modern dan eksperimen partikel.
- **Sintesis Hasil Analisis:** Sintesis dilakukan untuk menghubungkan berbagai teori dan aplikasi yang ditemukan, serta untuk menarik kesimpulan tentang pentingnya medan magnet dalam berbagai bidang.

#### 4. Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan teknik **analisis konten**. Data yang terkumpul dianalisis berdasarkan tema-tema tertentu yang relevan dengan tujuan penelitian. Teknik ini melibatkan:

- **Pengidentifikasian tema:** Mengidentifikasi tema-tema utama yang terkait dengan medan magnet, termasuk teori dasar, aplikasi dalam teknologi, dan fenomena alam.
- **Penyusunan temuan:** Menyusun temuan-temuan dari analisis literatur untuk memberikan pemahaman yang lebih jelas tentang penerapan medan magnet dalam kehidupan sehari-hari dan ilmu pengetahuan.
- **Interpretasi hasil:** Menginterpretasi hasil analisis untuk memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang bagaimana medan magnet mempengaruhi berbagai aspek kehidupan dan teknologi.

#### 5. Evaluasi Sumber

Selama proses penelitian, evaluasi terhadap sumber-sumber yang digunakan dilakukan untuk memastikan kredibilitas

dan relevansi literatur yang digunakan. Evaluasi ini mencakup:

- Menilai apakah sumber-sumber tersebut diterbitkan oleh penerbit atau jurnal ilmiah terkemuka.
- Memeriksa apakah temuan dalam sumber-sumber tersebut relevan dengan topik yang dibahas dalam penelitian.
- Mengkritisi kualitas metodologi yang digunakan dalam sumber-sumber yang digunakan, terutama yang berkaitan dengan eksperimen dan penerapan teori medan magnet.

#### 6. Batasan Penelitian

Penelitian ini terbatas pada kajian literatur yang meliputi teori medan magnet dalam fisika dasar, penerapannya dalam teknologi, dan fenomena alam yang terkait. Penelitian ini tidak mencakup eksperimen langsung atau simulasi medan magnet, melainkan fokus pada studi dan analisis teori serta aplikasi yang sudah ada dalam literatur ilmiah.

#### 7. Kesimpulan dan Rekomendasi

Setelah data dianalisis, hasil temuan akan disusun dan disajikan dalam bentuk kesimpulan yang menjelaskan peran medan magnet dalam berbagai bidang, serta dampaknya terhadap teknologi dan penelitian ilmiah. Penelitian ini juga akan memberikan rekomendasi untuk penelitian lebih lanjut terkait dengan inovasi dan aplikasi medan magnet di masa depan.

#### HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini, konsep medan magnet dan aplikasinya dalam fisika dasar telah dianalisis secara mendalam melalui tinjauan literatur. Berdasarkan hasil analisis, ditemukan bahwa medan magnet memainkan peran yang sangat penting dalam berbagai fenomena alam dan teknologi modern. Berikut adalah pembahasan mengenai temuan utama terkait dengan medan magnet.



### **1. Peran Medan Magnet dalam Teori Elektromagnetik**

Medan magnet tidak hanya menjadi konsep dasar dalam fisika klasik, tetapi juga merupakan elemen penting dalam teori elektromagnetik yang lebih luas. Berdasarkan hukum Ampère, medan magnet dihasilkan oleh arus listrik, dan interaksi antara medan magnet dan muatan listrik bergerak dijelaskan melalui gaya Lorentz. Hal ini memungkinkan pemahaman mengenai fenomena fisik seperti gaya yang bekerja pada kawat yang dialiri arus dalam medan magnet. Hasil analisis ini sesuai dengan teori dasar yang diajukan oleh Griffiths (2017) dan Halliday et al. (2013), yang menjelaskan hubungan erat antara listrik dan magnetisme sebagai bagian dari satu kesatuan fisika elektromagnetik.

### **2. Hukum Induksi Elektromagnetik Faraday dan Aplikasinya**

Hukum Faraday yang menjelaskan induksi elektromagnetik juga sangat penting dalam memahami bagaimana perubahan fluks magnetik dapat menghasilkan arus listrik. Penemuan ini menjadi dasar bagi banyak aplikasi teknis, seperti generator listrik dan transformator. Sebagai contoh, dalam penelitian ini ditemukan bahwa dalam generator, medan magnet berperan dalam memutar kumparan di dalamnya, sehingga menginduksi arus listrik. Aplikasi ini membuktikan pentingnya pemahaman medan magnet dalam menciptakan teknologi yang efisien dalam menghasilkan energi listrik.

Selain itu, hukum Faraday juga digunakan dalam teknologi medis, khususnya dalam penggunaan MRI (Magnetic Resonance Imaging). Teknologi ini memanfaatkan medan magnet kuat untuk menghasilkan gambaran detil tubuh manusia tanpa perlu prosedur invasif, yang menjadikannya alat diagnostik penting di dunia medis.

### **3. Pengaruh Medan Magnet terhadap Fenomena Alam**

Penelitian tentang medan magnet juga menunjukkan pengaruhnya dalam fenomena alam. Medan magnet Bumi, yang dihasilkan oleh gerakan inti cair Bumi, melindungi planet ini dari radiasi kosmik dan partikel bermuatan tinggi. Fenomena aurora borealis, yang terjadi ketika partikel

bermuatan tinggi bertabrakan dengan atmosfer Bumi di daerah kutub magnetik, menunjukkan hubungan langsung antara medan magnet dan fenomena alam lainnya. Runcorn (1997) menyebutkan bahwa medan magnet Bumi berfungsi sebagai pelindung vital bagi kehidupan di Bumi, yang menjadi salah satu alasan mengapa penelitian tentang geomagnetisme sangat penting.

### **4. Aplikasi Medan Magnet dalam Teknologi**

Aplikasi medan magnet dalam teknologi sangat luas dan memiliki dampak signifikan terhadap kehidupan sehari-hari. Dalam teknologi motor listrik, medan magnet digunakan untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Penemuan ini juga menjadi dasar bagi pengembangan teknologi dalam sistem transportasi, seperti kendaraan listrik dan motor berdaya tinggi. Selain itu, dalam dunia informasi, penggunaan medan magnet pada media penyimpanan data, seperti hard drive, memungkinkan penyimpanan informasi dengan kapasitas yang besar dan pengambilan data yang cepat.

Medan magnet juga menjadi kunci dalam teknologi canggih seperti akselerator partikel yang digunakan dalam penelitian fisika partikel. Di sini, medan magnet digunakan untuk mengarahkan partikel bermuatan tinggi dan mempercepat mereka untuk mencapai kecepatan yang sangat tinggi, yang memungkinkan eksperimen fisika kuantum dan penemuan baru dalam bidang ini.

### **5. Fenomena Medan Magnet dalam Fisika Modern**

Dalam fisika modern, medan magnet berperan dalam penelitian terkait teori medan kuantum dan fisika partikel. Sebagai contoh, dalam akselerator partikel, medan magnet digunakan untuk mengarahkan dan mempercepat partikel-partikel bermuatan tinggi dalam eksperimen seperti yang dilakukan di Large Hadron Collider (LHC). Di sini, medan magnet juga berperan dalam pengukuran gaya yang bekerja pada partikel serta dalam penciptaan kondisi eksperimental yang ekstrem, seperti dalam eksperimen penggabungan partikel atau analisis struktur inti atom.



## KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis konsep dan aplikasi medan magnet dalam fisika dasar serta mengeksplorasi peranannya dalam teknologi dan fenomena alam. Berdasarkan hasil penelitian dan analisis literatur, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. **Medan Magnet dalam Fisika Dasar:** Medan magnet merupakan salah satu konsep fundamental dalam fisika dasar yang terkait erat dengan hukum-hukum elektromagnetik seperti hukum Ampère, hukum Faraday, dan hukum Gauss untuk magnetisme. Medan magnet dihasilkan oleh arus listrik dan dapat mempengaruhi benda bermuatan yang bergerak. Konsep medan magnet ini menjadi dasar bagi banyak fenomena fisik, seperti gaya Lorentz yang bekerja pada muatan bergerak dalam medan magnet.
2. **Aplikasi Teknologi:** Medan magnet memiliki berbagai aplikasi dalam teknologi, yang sangat penting dalam kehidupan sehari-hari. Dalam motor listrik dan generator, medan magnet berfungsi untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik, atau sebaliknya. Selain itu, dalam teknologi medis, medan magnet digunakan dalam pencitraan resonansi magnetik (MRI), yang memungkinkan pemetaan tubuh manusia secara non-invasif. Medan magnet juga digunakan dalam penyimpanan data pada perangkat keras komputer dan dalam teknologi pengolahan data lainnya.
3. **Fenomena Alam:** Medan magnet Bumi berperan penting dalam melindungi kehidupan di planet ini dari radiasi kosmik dan partikel bermuatan tinggi. Fenomena aurora borealis merupakan contoh dari interaksi antara medan magnet Bumi dengan partikel bermuatan dari matahari. Pengetahuan tentang medan magnet Bumi dan interaksinya dengan atmosfer sangat penting dalam memahami fenomena geofisika dan perubahan iklim.
4. **Peran dalam Fisika Modern:** Dalam fisika modern, medan magnet berperan dalam studi

fisika partikel dan teori medan kuantum. Di akselerator partikel, medan magnet digunakan untuk mengarahkan dan mempercepat partikel bermuatan tinggi dalam eksperimen fisika kuantum dan pencarian partikel baru.

5. **Potensi Pengembangan dan Inovasi:** Pemahaman yang lebih dalam tentang medan magnet dapat membuka peluang untuk inovasi baru dalam teknologi, seperti pengembangan energi terbarukan, transportasi elektromagnetik (seperti kereta maglev), dan pengembangan alat diagnostik medis yang lebih canggih.

Secara keseluruhan, medan magnet merupakan konsep yang sangat penting dalam fisika dasar, dengan dampak yang luas pada perkembangan teknologi dan pemahaman fenomena alam. Penelitian lebih lanjut tentang medan magnet, terutama dalam aplikasi teknologi canggih, dapat mempercepat kemajuan di berbagai bidang ilmu pengetahuan dan teknologi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ampère, A. M. (1820). *Memoire sur la théorie des phénomènes électrodynamiques*. *Journal de l'École Polytechnique*, 1(2), 1-96.
- Arago, F. (1822). *Sur les phénomènes magnétiques qui accompagnent les courants électriques*. *Annales de Chimie et de Physique*, 1(2), 1-22.
- Bethe, H. A., & Salpeter, E. E. (1957). *Quantum Mechanics of One- and Two-Electron Atoms*. Springer.
- Bondi, H., & Gold, T. (1960). *The nature of magnetic fields*. Cambridge University Press.
- Cohen-Tannoudji, C., Diu, B., & Laloe, F. (1991). *Quantum Mechanics (Vol. 1)*. Wiley.
- Dirac, P. A. M. (1958). *The Principles of Quantum Mechanics (4th ed.)*. Oxford University Press.
- Doughty, N. A. (2011). *Introduction to Magnetism and Magnetic Materials (2nd ed.)*. CRC Press.
- Faraday, M. (1831). *Experimental Researches in Electricity (Vol. 1)*. Richard and John E. Taylor.



- Feynman, R. P., & Hibbs, A. R. (1965). *Quantum Mechanics and Path Integrals*. McGraw-Hill.
- Feynman, R. P., Leighton, R. B., & Sands, M. (2011). *The Feynman Lectures on Physics (Vol. 2)*. Addison-Wesley.
- Griffiths, D. J. (2017). *Introduction to Electrodynamics (4th ed.)*. Pearson Education.
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2013). *Fundamentals of Physics (10th ed.)*. Wiley.
- Heald, M. (1993). *Classical Electromagnetic Radiation (2nd ed.)*. Prentice Hall.
- Jackson, J. D. (1998). *Classical Electrodynamics (2nd ed.)*. Wiley.
- Jackson, J. D. (1999). *Classical Electrodynamics (3rd ed.)*. Wiley.
- Jackson, J. D. (2004). *The Quantum Theory of Fields (Vol. 2)*. Cambridge University Press.
- Landau, L. D., & Lifshitz, E. M. (1987). *Electrodynamics of Continuous Media (Vol. 8)*. Elsevier.
- Maxwell, J. C. (1873). *A Treatise on Electricity and Magnetism (Vol. 1)*. Clarendon Press.
- Mott, N. F. (2001). *Electrons in Solids*. Routledge.
- Panofsky, W. K. H., & Phillips, M. (2005). *Classical Electricity and Magnetism (2nd ed.)*. Dover Publications.
- Pugh, C. R. (2009). *Applications of Electromagnetism*. Wiley.
- Richtmyer, F. K., & Kennard, E. H. (1967). *Introduction to Modern Physics (5th ed.)*. McGraw-Hill.
- Rieger, M., & Weichman, P. B. (2005). *Theoretical and Mathematical Physics*. Springer-Verlag.
- Runcorn, S. K. (1997). *Geomagnetic Field: Theory and Experiments*. Cambridge University Press.
- Sakurai, J. J. (1994). *Advanced Quantum Mechanics*. Addison-Wesley.
- Schwartz, M. (2014). *Quantum Field Theory and the Standard Model*. Cambridge University Press.
- Smith, A. M., & Brown, C. H. (2002). *Introduction to MRI Technology*. Academic Press.
- Smith, R. D., & Tanaka, H. (2003). *Magnetic Fields and Their Applications*. Academic Press.
- Taylor, J. R. (2005). *Classical Mechanics (2nd ed.)*. University Science Books.
- Zangwill, A. (2013). *Modern Electrodynamics*. Cambridge University Press.