

ABSTRAK

Putri Alya Rhamadayani

NIM: 201720023

Efek Mekanis Cahaya dan Pendinginan Laser via Doppler *Cooling* pada Atom ^{23}Na

Penelitian ini membahas tentang efek mekanis cahaya dan proses pendinginan laser melalui teknik *Doppler cooling* pada atom natrium (^{23}Na). Tujuan utamanya adalah mengetahui detail efek mekanis cahaya dan pendinginan atom melalui interaksi dengan medan laser yang diatur sedikit di bawah frekuensi resonansi atom. Metode yang digunakan dalam penelitian ini mencakup simulasi numerik dari persamaan Bloch optik (PBO) dengan memvariasikan parameter *detuning* $\Delta(\Gamma)$ (dengan Γ adalah lebar garis spektrum) dan semianalitik dari persamaan gaya hamburan dengan memvariasikan parameter transisi frekuensi resonansi ω_{21} (dalam satuan rad/s) untuk menggambarkan transisi populasi antara tingkat energi atom. Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak PyLCP yang memungkinkan analisis mendalam tentang interaksi atom-laser, termasuk efek pergeseran Doppler. Hasil menunjukkan bahwa pada *detuning* $\Delta = -2.5\Gamma$ dan $\omega_{21} = -2.5\text{rad/s}$, atom yang bergerak menuju laser menyerap foton lebih efektif, dengan puncak positif di sekitar kecepatan $v/(\Gamma/k) \approx -2.5$ dan lembah negatif di sekitar kecepatan $v/(\Gamma/k) \approx 2.5$ (dengan k adalah bilangan gelombang foton). Pada *detuning* $\Delta = 0$ dan $\omega_{21} = 0$, gaya hamburan mendekati nol, sedangkan pada *detuning* $\Delta = 2.5\Gamma$ dan $\omega_{21} = 2.5\text{rad/s}$, atom yang bergerak menjauh dari laser menyerap foton lebih efektif, dengan puncak positif di sekitar kecepatan $v/(\Gamma/k) \approx 2.5$ dan lembah negatif di sekitar kecepatan $v/(\Gamma/k) \approx -2.5$. Hasil penelitian menunjukkan bahwa gaya hamburan berperilaku secara linear pada kecepatan rendah dan non-linear pada kecepatan tinggi dan penelitian ini berkontribusi pada pengembangan teknologi kuantum serta aplikasi optik yang memerlukan manipulasi atom dengan presisi tinggi.

Kata Kunci: Mekanis, Doppler, Detuning, Laser, Natrium (^{23}Na).

ABSTRACT

Putri Alya Rhamadayani

NIM: 201720023

Mechanics Effect Light and Laser Cooling via Doppler Cooling pada Atom ^{23}Na

This research discusses the mechanical effects of light and the laser cooling process through the Doppler cooling technique on sodium atoms (^{23}Na). The main objective is to understand the detailed mechanical effects of light and atom cooling through interaction with a laser field that is slightly detuned below the atomic resonance frequency. The methods used in this research include numerical simulations of the optical Bloch equations (OBE) by varying the detuning parameter $\Delta(\Gamma)$ (with Γ being the linewidth) and semi-analytical simulations of the scattering force equation by varying the transition frequency parameter ω_{21} (in rad/s) to describe the population transition between energy levels of the atom. Simulations were conducted using the PyLCP software, which allows for in-depth analysis of atom-laser interactions, including the Doppler shift effect. The results show that at detuning $\Delta = -2.5\Gamma$ and $\omega_{21} = -2.5\text{rad/s}$, atoms moving toward the laser absorb photons more effectively, with a positive peak around the velocity $v/(\Gamma/k) \approx -2.5$ and a negative dip at the velocity $v/(\Gamma/k) \approx 2.5$ (with k is the photon wavenumber) . At detuning $\Delta = 0$ and $\omega_{21} = 0$, the scattering force is linear at low speeds but becomes nonlinear at high speeds. At detuning $\Delta = 2.5\Gamma$ and $\omega_{21} = 2.5\text{rad/s}$, atoms moving away from the laser also absorb photons effectively, with a positive peak around the velocity $v/(\Gamma/k) \approx 2.5$ and a negative dip around $v/(\Gamma/k) \approx -2.5$. The study shows that the scattering force behaves linearly at low speeds and non-linearly at high speeds, contributing to the development of quantum technologies and other applications requiring precise manipulation of atoms using laser light.

keywords: Mechanical, Doppler, Detuning, Laser, Sodium (^{23}Na).

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Bersamaan dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi yang saya tulis sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains dan diajukan pada Program Studi Fisika Fakultas Sains Universitas Islam Negeri Sultan Maulana Hasanuddin Banten ini sepenuhnya asli merupakan hasil karya tulis ilmiah saya pribadi.

Adapun tulisan maupun pendapat orang lain yang terdapat dalam skripsi ini telah saya sebutkan kutipannya secara jelas dengan etika keilmuan yang berlaku di bidang penulisan karya ilmiah

Apabila di kemudian hari terbukti bahwa sebagian atau seluruh isi skripsi ini merupakan hasil perbuatan plagiarisme atau mencontek karya tulis orang lain, saya bersedia menerima sanksi berupa pencabutan gelar kesarjanaan yang saya terima ataupun sanksi akademik lain sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Serang, 09 Oktober 2024



Putri Alya Rhamadayani

NIM. 201720023

Nomor : -
Lampiran : Satu (1) eks
Perihal : Pengajuan Munaqasah
a.n. Putri Alya Rhamadayani
NIM. 201720023

Kepada Yth.
Dekan Fakultas
Sains
UIN SMH Banten
di-
Serang

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Dipermaklumkan dengan hormat, bahwa setelah membaca dan menganalisa serta mengadakan koreksi seperlunya, kami berpendapat bahwa skripsi saudara Putri Alya Rhamadayani dengan NIM: 201720023 yang berjudul "Efek Mekanis Cahaya dan Pendinginan Laser via Doppler *Cooling* pada Atom ^{23}Na ", telah dapat diajukan sebagai salah satu syarat untuk melengkapi ujian munaqasah pada Fakultas Sains Program Studi Fisika Universitas Islam Negeri Sultan Maulana Hasanuddin Banten.

Demikian atas segala perhatian Bapak kami ucapkan terima kasih.
Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Serang, 09 Oktober 2024

Pembimbing I



Beta Nur Pratiwi, M.Si
NIP. 199301022023212036

Pembimbing II



Dr. Ahmad Ridwan Tresna Nugraha
NIP. 198709202019021002



Dokumen ini ditandatangani secara elektronik menggunakan sertifikat dari BSR.E, silahkan lakukan verifikasi pada dokumen elektronik yang dapat diunduh dengan melakukan scan QR Code

Efek Mekanis Cahaya dan Pendinginan Laser via Doppler Cooling pada Atom

^{23}Na

Oleh:

Putri Alya Rhamadayani

NIM: 201720023

Menyetujui,

Pembimbing I

Pembimbing II



Beta Nur Pratiwi, M.Si.

NIP. 199301022023212036



TT ELEKTRONIK

Dr. Ahmad Ridwan Tresna Nugraha

NIP. 198709202019021002

Mengetahui,



Dekan Fakultas Sains

Dr. Asep Saefurrohman, M.Si.

NIP. 197808272003121003

Ketua Program Studi



Elsi Ariani, M.Si.

NIP. 198901232018012001

V



Dokumen ini diandatangani secara elektronik menggunakan sertifikat dari BSR, pastikan lakukan verifikasi pada dokumen elektronik yang dapat diunduh dengan melakukan scan QR Code

PENGESAHAN

Skripsi a.n Putri Alya Rhamadayani, NIM: 201720023 yang berjudul Proposal dengan judul "Efek Mekanis Cahaya via Doppler Cooling pada Atom ^{23}Na " telah diujikan dalam Ujian Tugas Akhir Universitas Islam Negeri Sultan Maulana Hasanuddin Banten pada tanggal 04 Oktober 2024

Skripsi tersebut telah disahkan dan diterima sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si.) pada Fakultas Sains Universitas Islam Negeri Sultan Maulana Hasanuddin Banten.

Serang, 09 Oktober 2024

Pembimbing I



Beta Nur Pratiwi, M.Si

NIP. 199301022023212036

Pembimbing II



TT ELEKTRONIK

Dr. Ahmad Ridwan Tresna Nugraha

NIP. 198709202019021002

Penguji I



Subur Pramono, M.Si

NIP. 199006262020121002

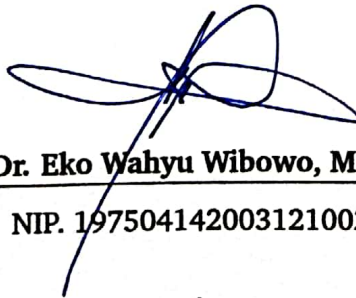
Penguji II



Fina Fitratun Amaliyah, M.Sc

NIDN. 2010029003

Ketua Penguji



Dr. Eko Wahyu Wibowo, M.Si

NIP. 197504142003121002



Dokumen ini ditandatangani secara elektronik menggunakan sertifikat dari BSR-E, sahkan lakukan verifikasi pada dokumen elektronik yang dapat diunduh dengan melakukan scan QR Code

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Serang pada tanggal 26 November 2001. Orang tua penulis Bapak Sayuti dan Ibu Nirwana memberi nama penulis "Putri Alya Rhamadayani".

Pendidikan formal yang ditempuh penulis sebagai berikut: TK An-Nur lulus tahun 2006, SDN 2 Ciruas lulus tahun 2014, MTsN 1 Kab.Serang lulus tahun 2017, dan MAN 1 Kab.Serang lulus tahun 2020. Putri Alya Rhamadayani diterima di Program Studi Fisika Fakultas Sains UIN Sultan Maulana Hasanuddin Banten pada tahun 2020.

Selama menempuh perkuliahan, penulis banyak mengikuti kegiatan intra dan ekstrakurikuler yang ada di UIN Sultan Maulana Hasanuddin Banten dengan menjadi Bendahara Himpunan Mahasiswa Jurusan Fisika (HMJ Fisika) pada tahun 2022.

PERSEMBAHAN

.... Jangan pernah berhenti bermimpi atau berharap, karena harapanmu akan mengantarkan sebuah keajaiban

Setiap rangkaian kata yang dituliskan dalam skripsi ini dipersembahkan kepada Ayah, Mamah beserta Adik laki-laki Muhammad Deska Al-Rizky, ketiga sosok yang menjadi tujuan utama dalam hidup penulis yang selalu memberikan penulis dorongan dan semangat.

MOTTO

"Science without religion is lame, religion without science is blind"

Albert Einstein

"Sesungguhnya Allah tidak menyukai orang-orang yang sombong"

Q.S An-Nahl: 23

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kehadirat Allah SWT., yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya kepada kita semua, sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan tepat pada waktunya. Shalawat berangkaikan salam semoga selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW, kepada keluarganya, sahabatnya dan kita selaku umatnya hingga akhir zaman.

Tugas akhir yang berjudul “Efek Mekanis Cahaya dan Pendinginan Laser via Doppler *Cooling* pada Atom ^{23}Na ” merupakan tugas akhir yang diajukan sebagai syarat memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si.) pada Program Studi Fisika Fakultas Sains UIN Sultan Maulana Hasanuddin Banten. Penyelesaian tugas akhir ini tidak terlepas dari dukungan dan doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah Swt., yang telah memberikan kesempatan dan kesehatan kepada penulis untuk melaksanakan dan menyelesaikan proposal penelitian,
2. Bapak Prof. Dr. Wawan Wahyudin, M.Pd., selaku Rektor UIN Sultan Maulana Hasanuddin Banten yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk belajar dan merasakan dalamnya sumur keilmuan di Perguruan Tinggi tercinta.
3. Bapak Dr. Asep Saefurrohman, M.Si., selaku Dekan Fakultas Sains yang telah mendukung penyelesaian studi dengan lancar.
4. Ibu Elsi Ariani, M.Si. selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas Sains Universitas Islam Negeri Sultan Maulana Hasanuddin Banten yang telah memberikan saran yang baik selama studi.

5. Ibu Beta Nur Pratiwi, M.Si. dan Bapak Dr. Ahmad Ridwan Tresna Nugraha selaku pembimbing I dan pembimbing II yang dengan sabar membimbing penulis, memberikan masukan, kritik dan saran selama proses penyusunan tugas akhir ini hingga selesai.
6. Bapak Dr. Syaefudin Jaelani dan Kelompok Riset Fisika Energi Tinggi Eksperimen di Pusat Riset Fisika Kuantum BRIN yang berkenan menerima sebagai asisten riset dalam program Direktorat Manajemen Talenta BRIN sehingga membantu pendanaan pendidikan selama pelaksanaan penelitian skripsi ini.
7. Bapak dan Ibu Dosen dan seluruh sivitas akademika di lingkungan Fakultas Sains yang telah mengajar dan mendidik selama penulis menempuh studi di UIN Sultan Maulana Hasanuddin Banten.
8. Keluarga dan teman-teman seperjuangan yang telah menorehkan cerita dan pengalaman hidup yang inspiratif kepada penulis.
9. Serta semua pihak yang telah membantu dan mendukung selama proses penyusunan tugas akhir ini.

Penulis juga menyadari bahwa tugas akhir ini masih memiliki kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun untuk perbaikan selanjutnya. Akhir kata, hanya kepada Allah SWT penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan bagi pembaca sekalian, aamiin.

Serang, 09 Oktober 2024

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
<i>ABSTRACT</i>	ii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
NOTA DINAS	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	v
LEMBAR PENGESAHAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
PERSEMBAHAN	viii
MOTTO	ix
KATA PENGANTAR	x
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Batasan Masalah	6
1.3 Rumusan Masalah	6

1.4	Tujuan Penelitian	6
1.5	Manfaat Penelitian.....	6
1.5.1	Manfaat Teoretis	6
1.5.2	Manfaat Praktis	7
BAB II	TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1	Kajian Teori	8
2.1.1	Persamaan Bloch Optik	8
2.1.2	Persamaan Heuristik.....	12
2.1.3	<i>Optical Molasses</i>	12
2.1.4	Efek Mekanis Cahaya dan Pendinginan Laser.....	13
2.1.5	Dasar-dasar Pendinginan Laser	23
2.2	Referensi Terdahulu yang Relevan.....	32
2.3	Kerangka Berpikir	36
BAB III	METODE PENELITIAN	38
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	38
3.2	Alat dan Bahan	38
3.3	Jenis Metode Penelitian	38
3.4	Teknik Pengumpulan Data	39
3.5	Teknik Analisis Data	39
BAB IV	Hasil dan Pembahasan	41
BAB V	Kesimpulan dan Saran	58
5.1	Kesimpulan.....	58
5.2	Saran	59
	DAFTAR PUSTAKA	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Atom bergerak sejajar dengan gelombang berdiri yang dibentuk oleh dua sinar laser berlawanan arah	4
Gambar 2.1	Ilustrasi atom dua tingkat tertarik oleh intensitas tinggi cahaya yang merambat ke kanan, disetel ke frekuensi merah resonansi atom	17
Gambar 2.2	Dua sinar laser menahan manik silika terhubung ke makromolekul untuk manipulasi dan peregangan dengan penjepit optik	18
Gambar 2.3	(a) Atom dengan kecepatan v bergerak berlawanan arah sinar.(b) Setelah menyerap foton, atom memancarkannya secara acak, mengurangi kecepatan rata-ratanya	19
Gambar 2.4	Siklus Pendinginan Laser	25
Gambar 2.5	Oven dengan bukaan kecil menghasilkan berkas atom, foton dari sinar laser melawan arah memperlambat atom	27
Gambar 2.6	Pergeseran Doppler dari sinar laser berlawanan arah dan searah	28

Gambar 2.7	(a) Pendinginan Doppler dalam 1D. Atom berinteraksi dengan sepasang sinar laser kontra-propagasi yang identik. Frekuensi laser sedikit di bawah frekuensi resonansi atom. (b) Laju hamburan sebagai fungsi penyetelan sinar laser dari resonansi, untuk tiga intensitas berbeda. (c) menunjukkan percepatan atom natrium akibat dua sinar laser yang bergantung pada kecepatan atom dan intensitas, menggambarkan pendinginan Doppler. Kita berasumsi balok-balok itu punya intensitas $I = I_s$, dan dihilangkan oleh $\Delta = -\Gamma$ dari transisi $\lambda = 589$ nm (garis kuning natrium).....	29
Gambar 2.8	Gaya f vs. kecepatan v dalam satu dimensi $F = 2 \rightarrow F' = 3$ dengan $\Delta/\Gamma = -2.5$ dan $s_0 = 1.0$	33
Gambar 2.9	Diagram Alir Penelitian.....	37
Gambar 4.1	Gaya f vs. kecepatan v dalam satu dimensi dengan $\Delta = 0$	42
Gambar 4.2	Gaya f vs. kecepatan v dalam satu dimensi dengan $\Delta = -2.5\Gamma$	43
Gambar 4.3	Gaya f vs. kecepatan v dalam satu dimensi dengan $\Delta = 2.5\Gamma$..	44
Gambar 4.4	Gaya Hamburan dengan Δ yang berbeda	45
Gambar 4.5	Gaya hamburan sebagai fungsi kecepatan dalam molase optik dengan $\omega_{21} = -2.5\text{rad/s}$	49
Gambar 4.6	Gaya hamburan sebagai fungsi kecepatan dalam molase optik dengan $\omega_{21} = 2.5\text{rad/s}$	50
Gambar 4.7	Gaya hamburan sebagai fungsi kecepatan dalam molase optik dengan $\omega_{21} = 0$	51
Gambar 4.8	Gaya hamburan sebagai fungsi kecepatan dalam molase optik .	53
Gambar 4.9	Gaya f vs. kecepatan v dengan $\omega_{21} = -2.5\text{rad/s}$	55
Gambar 4.10	Gaya f vs. kecepatan v dengan $\omega_{21} = 2.5\text{rad/s}$	56

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A	Code QuTiP	64
A.1	Gaya f vs. Kecepatan v dalam 1 dimensi dengan $\Delta = -2.5\Gamma$...	64
A.2	Gaya f vs. Kecepatan v dalam 1 dimensi dengan $\Delta = 0$	67
A.3	Gaya f vs. kecepatan v dalam 1 dimensi dengan $\Delta = 2.5\Gamma$	70
A.4	Gaya Hamburan $\Delta = -2.5\Gamma, 0, 2.5\Gamma$	73
A.5	Gaya Hamburan sebagai fungsi kecepatan dalam molase optik dengan $\omega_{21} = -2.5\text{rad/s}$	78
A.6	Gaya Hamburan sebagai fungsi kecepatan dalam molase optik dengan $\omega_{21} = 0$	79
A.7	Gaya hamburan sebagai fungsi kecepatan dalam molase optik dengan $\omega_{21} = 2.5\text{rad/s}$	80
A.8	Gaya hamburan sebagai fungsi kecepatan dalam molase optik	81
A.9	Gaya f vs kecepatan v dengan $\omega_{21} = -2.5\text{rad/s}$	83
A.10	Gaya f vs kecepatan v dengan $\omega_{21} = 2.5\text{rad/s}$	85
LAMPIRAN B	Penurunan Rumus Pada Gaya Disipasi	87
B.1	Gaya Disipasi sebagai Fungsi dari Kecepatan v	87