

فیزیک لیزرهای چاه کوانتومی کرنشی

تألیف:

جی. پی. لور

ترجمه:

دکتر شهرام محمدنژاد

دانشگاه امام حسین (ع)

موسسه چاپ و انتشارات

• عنوان: فیزیک لیزرهای چاه کوانتومی کرنشی

• تألیف: جی.پی. لور

• ترجمه: دکتر شهرام محمدنژاد

• اصلاح و صفحه‌آرایی: مؤسسه چاپ و انتشارات دانشگاه امام حسین(ع) (مهرنوش قاسمی)

• طراحی جلد: مرکز چاپ سپاه

• لیتوگرافی، چاپ و صحافی: مؤسسه چاپ و انتشارات دانشگاه امام حسین(ع)

• ناظر فنی چاپ: سیدمحمدباقر موسوی

• نوبت چاپ: اول (۱۳۸۴)

• شمارگان: ۱۷۰۰ نسخه

• نشانی: تهران، بزرگراه شهید بابایی، بعد از پل لشکرک، دانشگاه امام حسین(ع)، معاونت پژوهش، مؤسسه

چاپ و انتشارات، تلفن: ۷۷۳۱۳۸۳۳ - ۳۷ دورنگار: ۷۷۳۱۳۸۳۷ - ۷۷۳۰۸۶۴۰ - ۷۷۳۰۸۶۴۰ ص.پ. ۱۶۷۶۵-۹۹۵

• مراکز پخش: ۱- تهران، میدان فردوسی، فروشگاه و نمایشگاه شماره ۱ مؤسسه چاپ و انتشارات

دانشگاه امام حسین(ع)، تلفن: ۸۸۸۳۹۲۹۷ دورنگار: ۸۸۸۳۹۲۹۸

۲- تهران، خیابان انقلاب اسلامی، روبروی دانشگاه تهران، شماره ۱۳۹۲، مجتمع فرهنگی

امام حسین(ع)، فروشگاه و نمایشگاه شماره ۳ مؤسسه چاپ و انتشارات دانشگاه امام حسین(ع)،

تلفن و دورنگار: ۶۶۹۵۴۱۷۹

• کلیه حقوق اعم از چاپ و تکثیر، نسخه‌برداری، ترجمه و اقتباس برای دانشگاه امام حسین(ع) محفوظ است.

Loehr. John P.

لور، جان، ۱۹۶۶ -

فیزیک لیزرهای چاه کوانتومی کرنشی / تألیف جی.پی. لور؛ ترجمه شهرام محمدنژاد. - تهران: دانشگاه امام

حسین(ع)، مؤسسه چاپ و انتشارات، ۱۳۸۴.

۳۱۱ ص.: مصور، جدول، نمودار. - (دانشگاه امام حسین(ع)، مؤسسه چاپ و انتشارات: ۲۳۱. سری برق: ۱۰)

ISBN: 964-452-229-X

فهرست‌نویسی براساس اطلاعات فیبا.

Physics of strained quantum well Lasers, c1998

عنوان اصلی:

واژه‌نامه.

۱. لیزرهای نیمه‌هادی. ۲. چاه‌های کوانتومی. ۳. الکترونیک کوانتوم. الف. محمدنژاد، شهرام، ۱۳۳۰ - مترجم.

ب. دانشگاه امام حسین(ع)، مؤسسه چاپ و انتشارات، ج. عنوان.

۶۲۱/۳۶۶۱

QC ۶۸۹/۵۵/۹ل

۱۳۸۴

۸۴-۴۶۳۵۳

کتابخانه ملی ایران

سخن ناشر

بسم الله الرحمن الرحيم

«يرفع الله الذين امنوا منكم والذين اوتوا العلم درجات»

خداوند مقام اهل ايمان و دانشمندان عالم را (در دو جهان) رفيع مي گرداند.

(سوره مبارکه مجادله - آيه ۱۱)

تمامی ادیان الهی و در رأس آنها اسلام، انسان را موجودی کمال گرا می دانند. از نظر اسلام، انسان همواره در حال تکامل است و جهت گیری او به سمت کمال بی نهایت یعنی خداوند تبارک و تعالی است.

یکی از راه های کمال و تقرب به ذات اقدس الهی، علم و دانش است. علمی که - به تعبیر استاد شهید مطهری - زیبایی عقل است؛ علمی که انسان خداجو در آن نشانه های معبود را می جوید و می یابد و علمی که هر چه فزون تر می گردد، دارنده آن را به خدا نزدیک تر می کند.

هم از این روست که در نظام مقدس جمهوری اسلامی ایران که شالوده و اساس حاکمیت در آن بر مبنای احکام اسلام است، توجه به علم و دانش و تحقیق و نشر در صدر مسائل قرار دارد.

دانشگاه امام حسین (ع) نیز به عنوان مولود شجره طیبه سپاه پاسداران انقلاب اسلامی که خود برآمده از عمق ارزش های الهی و انقلابی است به عنوان تنها دانشگاه جامع علمی - نظامی کشور، پس از

پایان افتخارآمیز حماسه هشت سال دفاع مقدس که خود عرصه‌ای کم‌نظیر برای نمایش لیاقت‌ها و توانمندی‌های علمی - پژوهشی نیروهای مخلص حزب‌اللهی بود، موضوع «جهاد علمی» و تلاش در جهت رشد و شکوفایی هر چه بیشتر در زمینه‌های مختلف علمی را در سرلوحه فعالیت‌های خویش قرار داده است. هر چند از ابتدای تأسیس، این دانشگاه سعی وافر در ترویج و نشر علوم مختلف داشته و آثاری نیز عرضه نموده است که با استقبال اندیشمندان و پژوهشگران مواجه شده است.

کتاب فیزیک لیزرهای کوانتومی تحت کرنش شرح روشن، قابل دسترس و با جزئیات را در مورد اصول موضوعی به طور گسترده عرضه می‌کند. این عرضه از ساختار باند چاه‌های کوانتومی تحت کرنش تا فیزیک قطعات، پیشرفت می‌کند. این امر بویژه به عنوان پیش‌زمینه و نیازهای دانشجویانی که وارد دوره فوق لیسانس مهندس الکترونیک و فیزیک و همچنین مهندسی توسعه و تحقیق صنعتی می‌شوند مناسب است. تنها دانشی در حد دوره لیسانس از مکانیک کوانتومی، فیزیک حالت جامد و الکترومغناطیس نیاز می‌باشد و آشنایی اولیه با لیزرها مورد نیاز نیست.

فصل اول این کتاب یک واحد درسی کوچک در مورد مکانیک کوانتومی پیشرفته است و مهم‌ترین تکنیک‌ها را توضیح می‌دهد. روش‌های آشفتگی وابسته به زمان و مستقل از زمان با جزئیات کامل توسعه داده می‌شوند که این کار درک مابقی مطالب را ساده می‌کند. در فصول بعدی توجه خاصی به تعدادی از موضوعات مهم و چالش‌آفرین همانند تئوری $k \cdot p$ نظریه پتانسیل تغییر شکل، تقریب تابع پوش مالتی باند، کوانتیزه‌سازی میدان و جذب و گسیل نور در چاه‌های کوانتومی مبذول می‌شود. این موضوعات پایه‌ای به طور گسترده‌ای هم برای لیزرهای چاه کوانتومی و هم برای سایر ادوات الکترونیک نوری به کار می‌روند.

امید است این کتاب مورد توجه و بهره‌برداری صاحب‌نظران، محققان و علاقه‌مندان قرار گرفته و با اعلام نظرات و پیشنهادهای اصلاحی خود، ما را در جهت ترویج و انتشار آثار مورد نیاز جامعه علمی کشور یاری فرمایند.

و من الله التوفیق

معاونت پژوهش دانشگاه امام حسین (ع)

جی.پی.لور (J.P.Loehr)، دوره لیسانس را در دانشگاه ایالتی میشیگان و تحصیلات تکمیلی را در دانشگاه میشیگان گذراند و سرانجام موفق به دریافت دکترای مهندسی الکترونیک گردید. وی سپس به مقام مدیریت ارتباطات فضایی آزمایشگاه رایت

(Wright Laboratory) رسید؛ جایی که وی هم اکنون پروژه‌های تحقیقاتی در زمینه لیزر گسیل از سطح میکرو کواکی عمودی و افقی، لیزرهای با دما و سرعت بالای چاه کوانتومی تحت کرنش را هدایت می‌کند. وی دارای بیش از ۷۵ مقاله می‌باشد.



صنعت ایران و صنایع مختلف می‌باشد. از فعالیت‌های اجرایی دکتر محمدنژاد در دانشگاه را می‌توان معاونت آموزشی دانشگاه علم و صنعت ایران، معاونت آموزشی دانشگاه شاهد، رئیس واحد مجازی دانشگاه علم و صنعت ایران، معاون پژوهشی مرکز تحقیقات مخابرات ایران، دبیر اجرایی سومین کنفرانس مهندسی برق ایران، عضویت در انجمن IEE انگستان، عضویت در کمیته دائمی کنفرانس مهندسی برق ایران، مؤسس و مسؤول آزمایشگاه اپتوالکترونیک، عضویت در شورای مشورتی فرهنگی دانشگاه، عضویت در کمیته استاندارد سیستم‌های لیزری، عضویت در کمیته داوران کتب و مقالات دانشگاه علم و صنعت ایران و چند دانشگاه دیگر ذکر نمود. دکتر محمدنژاد قریب به پنجاه مقاله در مجلات و کنفرانس‌های بین‌المللی و چند جلد کتاب و مجموعه‌های استاندارد به چاپ رسانده است. ایشان به دلیل انجام فعالیت‌های علمی، پژوهشی و اختراع لیزر، بارها از جانب صنایع و دانشگاه‌ها مورد تقدیر و تشویق قرار گرفته‌اند.

آقای دکتر شهرام محمدنژاد، متولد سال ۱۳۳۰ از شهرستان فازاب و دانشیار دانشگاه علم و صنعت ایران می‌باشند. ایشان دوره کارشناسی را در دانشگاه «هوستون» آمریکا در رشته برق و دوره‌های کارشناسی ارشد و دکتری را به ترتیب در رشته‌های الکترونیک (مصدر) و الکترونیک (نیمه هادی‌ها و لیزرهای نیمه هادی) در دانشگاه «شیزوکا»ی ژاپن به پایان رسانده‌اند. از برجسته‌ترین کارهای ایشان تحقیق، طراحی و ساخت لیزرها و آشکارسازهای نیمه هادی و تثویزه کردن بسیاری از نیمه هادی‌های تک عنصری و مرکب گروه VI-VI می‌باشد. براساس همین تحقیقات در سال ۱۳۷۱ موفق به اختراع لیزر PbS₂S گردیدند.

تدریس دروس کوانتوم الکترونیک I، کوانتوم الکترونیک II، تئوری و تکنولوژی ساخت قطعات نیمه هادی، الکترونیک نوری I، الکترونیک نوری II، فیزیک الکترونیک، الکترونیک I و لیزرها از جمله فعالیت‌های آموزشی و انجام پروژه‌های متعدد صنعتی و تحقیقاتی از جمله فعالیت‌های پژوهشی ایشان در دانشگاه علم و

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
(چهارده)	مقدمه مؤلف
(پانزده)	مقدمه مترجم
۱	فصل اول: مقدمات مکانیک کوانتومی
۲	۱-۱- حالت‌های ساکن
۵	۱-۲-۱- تئوری اختلال مستقل از زمان درجه دوم
۵	۱-۲-۱- تئوری ریلی - شرودینگر
۱۵	۱-۲-۱- روش تبدیلات پایه‌ای بسیار کوچک
۲۱	۳-۱- تعبیر فیزیکی معادله موج
۲۲	۱-۳-۱- طیف گسسته
۲۳	۱-۳-۲- طیف پیوسته
۲۴	۴-۱- شرایط مرزی تناوبی
۲۷	۵-۱- چگالی حالت‌ها
۳۲	۶-۱- تقریب‌های مربوط به مسائل وابسته به زمان
۳۳	۱-۶-۱- رفتار مرتبه اول
۳۷	۱-۶-۲- حالت گسسته: Rabi flopping
۴۱	۳-۶-۱- حالت پیوسته: یونیزاسیون نوری
۴۶	۴-۶-۱- قانون طلانی فرمی
۴۹	۵-۶-۱- چه کسی در حال اندازه‌گیری است؟
۵۰	۷-۱- اندازه حرکت زاویه‌ای

۵۲	۱-۷-۱- توابع دورانی
۵۵	۱-۷-۲- اسپین الکترون
۵۶	۱-۷-۳- تزویج مدار اسپینی
۵۷	۱-۷-۴- جمع اندازه حرکت زاویه‌ای
۶۳	۱-۷-۵- عناصر ماتریسی L.S
۶۸	۱-۸- تئوری گروه
۷۱	۱-۹- جبر عملگری نوسانگر هارمونیک
۷۴	۱-۱۰- منابع پیشنهادی برای مطالعه
۷۵	فصل دوم: ساختار باند نیمه‌هادی حجمی
۷۶	۱-۲- تقریب یک الکترونی
۷۷	۲-۲- تئوری بلاخ
۸۰	۳-۲- شیوه پیوند محکم
۸۴	۴-۲- مدل اربیتال پیوند مؤثر 4×4
۹۱	۴-۱-۲- قیود انرژی
۹۲	۴-۲-۲- قیود پراکنش
۹۶	۵-۲- برهم‌کنش‌های اسپین - اربیت: $8 \times 8 \text{EBOM}$
۱۰۰	۵-۱-۲- قیود انرژی
۱۰۲	۵-۲-۲- قیود پراکندگی
۱۰۹	۶-۲- تئوری $k.p$
۱۱۱	۶-۱-۲- ویژگی‌های نظریه گروه بلورهای سولفید روی
۱۱۳	۶-۲-۲- مدل $4 \times 4 k.p$
۱۱۹	۶-۳- تأثیرات اسپین - اربیت: مدل $8 \times 8 k.p$
۱۲۰	۷-۲- تئوری الاستیسیته (خاصیت ارتجاعی)
۱۲۰	۷-۱-۲- تانسور فشار
۱۲۲	۷-۲-۲- تانسور کرنش
۱۲۳	۷-۳- قانون تعمیم‌یافته هوک
۱۲۸	۷-۴- تانسور کرنش برای کرنش دوماحوری (۰۰۱)
۱۳۰	۸-۲- اثر تنش بر ساختار باند: تئوری تغییر شکل پتانسیل
۱۳۰	۸-۱-۲- حالت یک‌بعدی
۱۳۲	۸-۲-۲- حالت سه‌بعدی

۱۳۶	۳-۸-۲. حل اختلال برای حالت سه‌بعدی
۱۴۲	۹-۲. ساده‌سازی عملی
۱۴۴	۱-۹-۲. باندهای هدایت
۱۴۵	۲-۹-۲. باندهای شکافت
۱۴۶	۳-۹-۲. باندهای حفره سبک و سنگین
۱۵۲	۱۰-۲. منابع پیشنهادی برای مطالعه
۱۵۳	فصل سوم: حالت‌های الکترونیکی در چاه‌های کوانتومی
۱۵۴	۱-۳. نرمالیزه کردن تابع بلاخ
۱۵۶	۲-۳. تقریب تابع پوش چندباندی
۱۵۸	۱-۲-۳. عناصر ماتریس U_{ex}
۱۵۹	۲-۲-۳. عناصر ماتریس H_0
۱۶۱	۳-۲-۳. معادله جرم مؤثر چندباندی
۱۶۲	۴-۲-۳. نرمالیزه کردن توابع پوش
۱۶۳	۵-۲-۳. عناصر ماتریس اندازه حرکت بین حالت‌های جرم مؤثر
۱۶۶	۶-۲-۳. مثال: حالت‌های جرم مؤثر در باند هدایت
۱۶۷	۳-۳. ساختارهای غیر همگن و چاه‌های کوانتومی
۱۶۷	۱-۳-۳. چاه‌های کوانتومی تحت کرنش
۱۶۹	۲-۳-۳. تئوری جرم مؤثر در ساختارهای غیر همگن
۱۶۹	۴-۳. ریزباند‌های هدایت در چاه‌های کوانتومی
۱۷۱	۱-۴-۳. ترتیب عملگرها
۱۷۲	۲-۴-۳. ساده‌سازی به معادله یک‌بعدی
۱۷۳	۳-۴-۳. شرایط مرزی
۱۷۴	۴-۴-۳. توابع موج حالات باند هدایت مرزی در چاه‌های کوانتومی مربعی
۱۷۸	۵-۴-۳. پراکندگی ریزباند هدایت در چاه‌های کوانتومی
۱۸۰	۵-۳. ریزباند‌های شکافت در چاه‌های کوانتومی
۱۸۱	۶-۳. ریزباند‌های حفره سبک و سنگین در چاه‌های کوانتومی
۱۸۳	۱-۶-۳. شرایط مرزی
۱۸۳	۲-۶-۳. راه حل‌های کلی
۱۸۶	۳-۶-۳. بسط و گسترش بر حسب جملات راه حل‌های کلی
۱۸۶	۴-۶-۳. اعمال شرایط مرزی

۱۸۹	۳-۵۶- توابع موج حالت‌های مرزی HH و LH در چاه‌های کوانتومی
۱۹۰	۳-۶۶- پراکندگی ریزباند HH و LH در چاه‌های کوانتومی کرنشی
۱۹۲	۳-۷- خلاصه ساختار باند چاه کوانتومی
۱۹۴	۳-۸- منابع پیشنهادی برای مطالعه
۱۹۵	فصل چهارم: موجبری در لیزرهای نیمه‌هادی
۱۹۶	۴-۱- خواص نوری جامدات
۱۹۸	۴-۱-۱- امواج الکترومغناطیسی
۲۰۱	۴-۱-۲- شرایط مرزی
۲۰۲	۴-۲- موجبرهای مستطیلی
۲۰۴	۴-۳- موجبر تخت سه لایه
۲۰۵	۴-۳-۱- مدهای $TE(E_z=0)$ یا H
۲۰۷	۴-۳-۲- مدهای $TM(B_z=0)$ یا E
۲۰۸	۴-۳-۳- شرایط مرزی بر میدان‌های عمودی
۲۱۰	۴-۴- موجبرهای دوبعدی
۲۱۱	۴-۴-۱- روش اندیس‌دهی وزن داده شده
۲۱۳	۴-۴-۲- حل ماتریسی برای معادله مقدار ویژه یک بعدی
۲۱۹	۴-۴-۳- محاسبات نمونه
۲۲۱	۴-۵- تلفات موجبر
۲۲۳	۴-۶- منابع پیشنهادی برای مطالعه
۲۲۵	فصل پنجم: برهم‌کنش ماده و تابش
۲۲۶	۵-۱- الکتروپنایمیک کلاسیک
۲۳۳	۵-۲- الکتروپنایمیک کوانتومی
۲۳۶	۵-۳- اندرکنش الکترون‌ها و فوتون‌ها
۲۴۱	۵-۴- عناصر ماتریسی $\langle \Psi_r \hat{H}_{\kappa\alpha}^{(\pm)} \Psi_i \rangle$
۲۴۳	۵-۵- نرخ‌های جذب و گسیل
۲۴۵	۵-۶- تقریب دو قطبی
۲۴۷	۵-۷- طول عمر گسیل خودبخودی در تقریب دوقطبی
۲۵۱	۵-۸- منابع پیشنهادی برای مطالعه

۲۵۳	فصل ششم: بهره و گسیل در لیزرهای چاه کوانتومی کرنشی
۲۵۴	۱-۶. ترمودینامیک الکترون و حفره در چاه‌های کوانتومی
۲۵۷	۲-۶. عناصر ماتریس نوری
۲۵۹	۱-۲-۶. شدت گذار نسبی
۲۶۱	۳-۶. نرخ‌های گسیل خودبخودی در جامدات
۲۶۲	۱-۳-۶. گسیل خودبخودی در چاه‌های کوانتومی
۲۶۶	۴-۶. بهره ماده در جامدات
۲۶۸	۱-۴-۶. تبدیل نرخ گذار به ضریب بهره
۲۷۰	۲-۴-۶. بهره ماده در چاه‌های کوانتومی
۲۷۴	۵-۶. لیزرهای فابری - پروت
۲۷۵	۱-۵-۶. شرط لیزینگ آستانه‌ای
۲۷۷	۲-۵-۶. معادلات نیمه کلاسیک شدت
۲۸۰	۶-۶. منابع پیشنهادی برای مطالعه
۲۸۱	پیوست
۲۸۱	پیوست A: تئوری آشفتگی نویدین
۲۸۷	پیوست B: نمایش صورت ریز عناصر ماتریس $k.p$
۲۸۷	B-۱. عناصر ماتریس $\langle u_x + p_x u_y \rangle$
۲۸۹	B-۲. عناصر ماتریس $\langle u_x + p_y u_y \rangle$
۲۹۰	B-۳. عناصر ماتریس $\langle u_s - p_x u_y \rangle$
۲۹۰	B-۴. عناصر ماتریس $H_{\alpha\beta}^{k.p}$
۲۹۳	B-۵. خلاصه
۲۹۵	پیوست C: پارامترهای مربوط به چند ماده از ترکیبات III-V
۲۹۷	واژه‌نامه
۲۹۷	فارسی- انگلیسی
۳۰۵	انگلیسی- فارسی

مقدمه مؤلف

کتاب حاضر، توضیح جامع و یکپارچه‌ای از ضروریات فیزیک لیزرهای چاه کوانتومی تحت کرنش فراهم می‌کند. نحوه نگارش کتاب فقط به زمینه مقدماتی استاندارد در مکانیک کوانتومی، فیزیک حالت جامد و الکترومغناطیس، به غیر از آنچه که دانشجویان فوق لیسانس مهندسی برق و فیزیک به آن وارد می‌شوند، نیاز دارد. یک درس ساده در دوره لیسانس در مورد هر یک از این موضوعات که با این متن همراه باشد کفایت می‌کند. بیشتر موارد پیشرفته در مورد مکانیک کوانتومی در فصل اول بسط داده شده و جمع شده‌اند.

کتاب روی چند موضوع متمرکز شده است که آنها بر مبنای تجربیات خود و دیگران می‌باشند و یادگیری آنها با ادبیات موجود کار بسیار سختی است. بویژه ساختار باند نیمه هادی‌های حجمی و کوانتومی را به طور مفصل بحث نموده و از پیش‌نویس‌ها، مدل $k.p$ و اتصال مستحکم به دست می‌آید. همچنین بخش زیادی را به سرعت گذار نوری اختصاص داده و توجه خاصی را به حالت‌های پیوسته خواهیم داشت. زحمت زیادی برای نشان دادن گام‌های میانی و اهمیت دادن به معنای واقعی نمادها در این محاسبات، کشیده شده است. تبحر در این موضوعات به خواننده راه دسترسی بلادرنگ به ادبیات جاری را اعطا می‌کند چه این ادبیات، ادبیات مقاله‌ای و یا به شکل کتاب‌های پیشرفته که اغلب جزئیات کمی را ارائه می‌کنند، باشد. تلاش شده تا چند نمونه از این موارد به عنوان مرجع مطالعه ذکر شود، بویژه زمانی که سهم این مطالب به نسبت، جدید بوده است. اما تلاشی برای تهیه کاتالوگ از تحقیقات جاری یا تاریخچه‌ای از رشته مورد نظر انجام نشده، بلکه هدف فراهم ساختن میدان دید عمیق و قابل حصول از مفاهیم اساسی و چالش‌برانگیز بوده است.

مقدمه مترجم

شاید این گونه به نظر برسد که عمل ترجمه در مقایسه با تألیف امری ساده است. اما در واقع این چنین نیست و بعضاً به مسأله‌ای بسیار مشکل بدل می‌گردد. از آنجا که در ترجمه متون تخصصی نیاز به واژگان علمی و فنی مترادف و رسا می‌باشد، بدیهی است که کمبود آنها و خصوصاً نارسا بودن برخی از آنها در زبان فارسی و عدم دستیابی به قرینه‌های گویا و متناسب، مشکلات را چند برابر می‌نماید. از سوی دیگر بر فرض پیدا کردن قرینه، ساختار بسیاری از آنها نیاز به اصلاحات دارد تا بر قواعد فارسی منطبق گردد. از این رو لازم است که اولاً موضوعات مورد ترجمه با تخصص مترجم منطبق باشد و ثانیاً در صورتی که واژه‌هایی موجود نبوده و یا نارسا باشند، با مشورت اهل فن به ساختن آنها مبادرت ورزد. کتاب حاضر، بدون اغراق از جدیدترین و غنی‌ترین کتبی است که در خصوص کوانتوم تالیف شده و در واقع سطر به سطر آن مملو از مطالب بدیع و علمی است. تسلط مؤلف بر موضوعات مطروحه، این کتاب را به مجموعه‌ای نفیس و قابل استفاده برای دوره‌های تحصیلات تکمیلی تبدیل نموده است. فرصت را مغتنم شمرده از مسؤولین محترم معاونت پژوهشی دانشگاه امام حسین (ع) و مؤسسه چاپ و انتشارات آن دانشگاه خصوصاً سرکار خانم مهرنوش قاسمی که در حروفچینی و صفحه‌آرایی این کتاب، با دقت و دلسوزی فراوان زحمات فوق‌العاده متحمل شده‌اند سپاسگزاری می‌نمایم. ضمناً از دانشجویان عزیز خصوصاً آقای مهندس شمس‌... سالمیان بخاطر ویرایش و اصلاح امور تایپی تشکر می‌نمایم. از کلیه همکاران محترم و دانشجویان عزیز که به نحوی در به پایان رساندن این وظیفه اینجانب را یاری نموده‌اند نیز کمال تشکر را دارم.

شهرام محمدنژاد

زمستان ۱۳۸۴