

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

فیزیک پلاسما و انرژی گداخت هسته‌ای

تألیف:

Jeffrey P. Freidberg

ترجمه:

دکتر مرتضی حبیبی

عضو هیأت علمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)

دکتر رضا امراللهی

عضو هیأت علمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)

بهار ۱۳۹۷

سرشناسه	: فریدبرگ، جفری پی.، ۱۹۴۰ - م
عنوان و نام پدیدآور	Freidberg, Jeffrey P.
ترجمه	: فیزیک پلاسما و انرژی گداخت هسته‌ای / تألیف فریدبرگ، جفری پی.
مشخصات نشر	: مرتضی حبیبی، رضا امراللهی
مشخصات ظاهری	: تهران: دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، مرکز نشر ۱۳۹۴
شابک	: ۸۰۶ ص
وضعیت فهرست‌نویسی	: ۹۷۸-۹۶۴-۴۶۳-۵۹۶-۰
یادداشت	: فیپا
یادداشت	: عنوان اصلی: Plasma physics and fusion energy
یادداشت	: واژه‌نامه
یادداشت	: کتاب‌نامه
یادداشت	: نمایه
شناسه افزوده	: امراللهی، رضا، ۱۳۲۵ -، مترجم
موضوع	: پلاسما (گازهای یونیزه)
موضوع	: گداخت هسته‌ای کنترل شده
شناسه افزوده	: حبیبی، مرتضی، ۱۳۳۶ -، مترجم
شناسه افزوده	: دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، مرکز نشر
رده‌بندی کنگره	: ۱۳۹۴ ف۹۴/ف۷۱۸/۷۱۸
رده‌بندی دیویی	: ۵۳۰/۴۴
شماره کتابشناسی ملی	: ۳۷۷۱۷۲۸

این کتاب در جلسه مورخ ۱۳۹۳/۹/۲۳ شورای چاپ و نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر به تصویب رسیده است.



انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

عنوان کتاب	: فیزیک پلاسما و انرژی گداخت هسته‌ای
تألیف	: Jeffrey P. Freidberg
ترجمه	: دکتر مرتضی حبیبی - دکتر رضا امراللهی
ناشر	: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
لیتوگرافی، چاپ و صحافی	: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
چاپ دوم	: بهار ۱۳۹۷
قیمت	: ۴۶۰۰۰ تومان
تیراژ	: ۱۰۰ نسخه
شابک	: ۹۷۸-۹۶۴-۴۶۳-۵۹۶-۰
	ISBN: 978-964-463-596-0

آدرس مرکز پخش: خیابان ولیعصر، روبروی خیابان بزرگمهر، فروشگاه کتاب مرکز نشر

دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران) - تلفن: ۶۶۴۹۸۸۶۸

وبسایت: <http://publication.aut.ac.ir>

حق چاپ برای ناشر محفوظ است.

فهرست

عنوان	صفحه
I..... معرفی کتاب	
II..... پیش‌گفتار مترجمین	
III..... پیش‌گفتار مولف	
V..... یکاها	
فصل اول: گداخت هسته‌ای و انرژی جهان	۱
۱-۱- مقدمه	۱
۱-۲- گزینه‌های کنونی تامین انرژی	۲
۱-۲-۱- زمینه‌ی بحث	۲
۱-۲-۲- ذغال‌سنگ	۵
۱-۲-۳- گاز طبیعی	۷
۱-۲-۴- نفت	۸
۱-۲-۵- انرژی هسته‌ای	۱۰
۱-۲-۶- انرژی برقی	۱۳
۱-۲-۷- انرژی باد	۱۴
۱-۲-۸- انرژی خورشیدی	۱۶
۱-۲-۹- بهره‌وری انرژی	۱۷
۱-۲-۱۰- چکیده	۱۸
۱-۳- نقش انرژی گداخت	۱۸
۱-۳-۱- انرژی گداخت	۱۸
۱-۳-۲- چکیده‌ی بخش گداخت	۲۲
۱-۴- چکیده‌ی کلی و نتیجه	۲۲
فصل دوم: واکنش گداخت	۲۵
۱-۲- مقدمه	۲۵
۱-۲-۲- مقایسه‌ی واکنش‌های هسته‌ای با واکنش‌های شیمیایی	۲۶

۲۸.....	۳-۲- انرژی هسته‌ای توسط شکافت
۲۹.....	۴-۲- انرژی هسته‌ای توسط گداخت
۲۹.....	۲-۴-۱- واکنش‌های هسته‌ای با استفاده از نوترون در عناصر سبک
۳۱.....	۲-۴-۲- واکنش‌های گداخت بین عناصر سبک
۳۲.....	واکنش D-D
۳۲.....	واکنش $D-He^3$
۳۳.....	واکنش D-T
۳۴.....	۳-۴-۲- توزیع انرژی در واکنش‌های گداخت
۳۵.....	۵-۲- منحنی انرژی بستگی و چرایی آن
۳۶.....	۲-۵-۱- منحنی انرژی بستگی
۳۷.....	۲-۵-۲- شکل منحنی انرژی بستگی
۴۱.....	۲-۶- چکیده
۴۲.....	مسائل

۴۵.....	فصل سوم: توان الکتریکی حاصل از گداخت
۴۵.....	۱-۳- مقدمه
۴۶.....	۲-۳- مفاهیم سطح مقطع، مسیر آزاد میانگین و فرکانس برخورد
۴۶.....	۱-۲-۳- سطح مقطع برخورد
۴۸.....	۲-۲-۳- مسیر آزاد میانگین
۵۰.....	۳-۲-۳- فرکانس برخورد
۵۱.....	۱-۳-۳- آهنگ واکنش مدل کره‌ی سخت
۵۲.....	۲-۳-۳- تعمیم آهنگ واکنش با در نظرگیری سرعت‌های چندگانه
۵۲.....	تابع توزیع
۵۳.....	نخستین تعمیم در آهنگ واکنش
۵۴.....	دومین تعمیم در آهنگ واکنش
۵۷.....	۴-۳- توابع توزیع، سطح مقطع‌های واکنش گداخت و چگالی توان گداخت
۵۷.....	۱-۴-۳- توابع توزیع
۵۷.....	۲-۴-۳- سطح مقطع گداخت و چگالی توان
۵۸.....	سطح مقطع کره سخت
۵۸.....	سطح مقطع کلاسیکی
۶۰.....	اثرات کوانتم مکانیکی هسته

۶۴	۳-۵- اتلاف تابشی.....
۶۴	۳-۵-۱- نگاهی بر اتلاف تابشی.....
۶۵	۳-۵-۲- محاسبه‌ی اتلاف انرژی هر ذره در یک برخورد کولنی (W).....
۶۷	۳-۵-۳- محاسبه‌ی S_B
۶۹	۳-۵-۴- اثر یون‌های مختلف.....
۷۰	۳-۶- چکیده.....
۷۱	مسائل.....

فصل چهارم: توازن توان در راکتور گداخت..... ۷۵

۷۵	۴-۱- مقدمه.....
۷۶	۴-۲- معادله‌ی بقای صفر بعدی رابطه‌ی انرژی.....
۷۷	۴-۳- توازن توان کلی در گداخت مغناطیسی.....
۷۸	۴-۴- توازن توان صفر بعدی حالت پایدار.....
۸۱	۴-۵- توازن توان در پلاسما.....
۸۱	۴-۵-۱- اشتعال ایده‌آل.....
۸۲	۴-۵-۲- اشتعال.....
۸۶	۴-۶- توازن توان در یک راکتور.....
۸۶	۴-۶-۱- فاکتور بهره‌ی فیزیکی Q
۸۹	۴-۶-۲- فاکتور بهره‌ی مهندسی (Q_E).....
۹۱	۴-۷- توازن توان وابسته به زمان در یک راکتور گداخت.....
۹۲	۴-۷-۱- رابطه‌ی توازن توان صفر بعدی وابسته به زمان.....
۹۳	۴-۷-۲- پایداری حرارتی.....
۹۶	۴-۷-۳- توان خارجی کمینه.....
۱۰۰	۴-۸- خلاصه‌ی توازن توان گداخت مغناطیسی.....
۱۰۱	مسائل.....

فصل پنجم: طراحی یک راکتور گداخت مغناطیسی ساده..... ۱۰۵

۱۰۵	۵-۱- مقدمه.....
۱۰۶	۵-۲- اجزای کلی یک راکتور گداخت مغناطیسی.....
۱۰۷	۵-۳- پارامترهای اساسی طراحی راکتور جهت محاسبه.....
۱۰۹	۵-۴- اهداف طراحی و قیدهای اساسی مهندسی و فیزیک هسته‌ای.....

۱-۴-۵	اهداف طراحی	۱۰۹
۲-۴-۵	قیدهای فن‌آوری	۱۱۰
۳-۴-۵	قیدهای فیزیک هسته‌ای	۱۱۳
۵-۵	طراحی راکتور گداخت مغناطیسی	۱۱۴
۱-۵-۵	مبنای محاسبات طراحی راکتور	۱۱۴
۲-۵-۵	ضخامت پوشش بارور و سپر حفاظتی	۱۱۴
۳-۵-۵	شعاع پلاسما و ضخامت پیچ‌های مغناطیسی	۱۱۸
	کمینه کردن هزینه	۱۱۹
	ضخامت کمینه‌ی پیچ	۱۲۱
۴-۵-۵	شعاع اصلی و حجم و سطح پلاسما	۱۲۵
۵-۵-۵	چگالی توان و فشار پلاسما	۱۲۵
۶-۵-۵	کمیت‌های فیزیک پلاسمای β و τ_E	۱۲۷
۶-۵	چکیده	۱۲۸
	مسائل	۱۲۹
فصل ششم: چشم‌اندازی بر گداخت مغناطیسی		
۱-۶	مقدمه	۱۳۳
۲-۶	شرح پایه‌ای پلاسمای گداخت	۱۳۴
۳-۶	رفتار یک ذره‌ی باردار در محیط پلاسما	۱۳۵
۴-۶	مدل‌های خودنگهدار	۱۳۶
۵-۶	تعادل و پایداری MHD	۱۳۷
۶-۶	سیستم‌های گداخت مغناطیسی	۱۳۸
۷-۶	ترابرد	۱۴۰
۸-۶	گرمایش و محرک جریان	۱۴۱
۹-۶	آینده‌ی تحقیقات گداخت هسته‌ای	۱۴۳
فصل هفتم: مبانی پلاسمای گداخت هسته‌ای		
۱-۷	مقدمه	۱۴۵
۲-۷	حفاظ‌سازی میدان‌های الکتریکی DC در پلاسما- طول دبای	۱۴۶
۱-۲-۷	توصیف فیزیکی حفاظ دبای	۱۴۶
۲-۲-۷	محاسبه‌ی طول دبای	۱۴۸

۱۵۲	۳-۷- حفاظ سازی از میدان الکتریکی AC در پلاسما - فرکانس پلاسما
۱۵۲	۳-۷-۱- توصیف فیزیکی حفاظ سازی میدان های AC
۱۵۳	۳-۷-۲- محاسبه فرکانس الکترون پلاسما
۱۵۶	۷-۴- برخوردهای اندک بین ذرات و اثرات جمعی
۱۵۶	۷-۴-۱- توصیف آماری اثرات بلند برد جمعی
۱۵۷	۷-۴-۲- فضای بین ذرات بر حسب فاصله ی برهم کنش کولنی
۱۵۹	۷-۴-۳- مقایسه ی بین فرکانس پلاسما و فرکانس کولنی
۱۵۹	۷-۵- قیدهای دیگر مربوط به پلاسمای گداخت مغناطیسی
۱۶۱	۷-۶- مقایسه ی بین رفتار ماکروسکوپی و برخوردها
۱۶۲	۷-۷- چکیده
۱۶۳	مسائل
۱۶۷	فصل هشتم: حرکت یک ذره ی باردار - نظریه ی مرکز هدایت
۱۶۷	۸-۱- مقدمه
۱۷۰	۸-۲- خواص عمومی حرکت یک ذره ی باردار
۱۷۰	۸-۲-۱- معادلات دقیق حرکت
۱۷۰	۸-۲-۲- روابط ثابت در حرکت ذره حول میدان مغناطیسی
۱۷۲	۸-۳- حرکت در میدان $\mathbf{B}$ ثابت
۱۷۲	۸-۳-۱- حرکت موازی
۱۷۳	۸-۳-۲- حرکت عمودی
۱۷۶	۸-۳-۳- نتایج حرکت چرخشی
۱۷۷	۸-۴- حرکت ذره در میدان های ثابت $\mathbf{E}$ و $\mathbf{B}$: سوق $\mathbf{E} \times \mathbf{B}$
۱۷۸	۸-۴-۱- اثر میدان الکتریکی موازی
۱۷۹	۸-۴-۲- اثر میدان الکتریکی عمودی
۱۸۲	۸-۵- حرکت ذره ی باردار در میدان های با گرادیان عمودی: سوق ∇B
۱۸۳	۸-۵-۱- اثر گرادیان عمودی میدان مغناطیسی با فرض $\mathbf{E} = 0$
۱۸۶	۸-۵-۲- گرادیان عمودی $\mathbf{E}$ و میدان $\mathbf{B}$ ثابت
۱۸۸	۸-۶- حرکت ذره در میدان مغناطیسی خمیده: سوق انحنا
۱۹۲	۸-۷- ترکیب سوق های $\mathbf{V}_{\nabla B}$ و $\mathbf{V}_K$ بر میدان مغناطیسی در خلاء
۱۹۳	۸-۸- حرکت ذره ی باردار در میدان های E و B وابسته به زمان: سوق قطبشی
۱۹۳	۸-۸-۱- سوق قطبشی در حالت: $\mathbf{B} = \text{const.}$ و $E_{\perp} = E_x(t)e_x + E_y(t)e_y$

تحلیل ریاضی سوق قطبشی.....	۱۹۳
تصویر فیزیکی سوق قطبشی.....	۱۹۶
۸-۸-۲- سوق قطبشی در حالت: $\mathbf{B} = B(t)\mathbf{e}_z$ و $E_{\perp} = E_x(r_{\perp}, t)\mathbf{e}_x + E_y(r_{\perp}, t)\mathbf{e}_y$	۱۹۷
تحلیل ریاضی.....	۱۹۸
مفهوم پارامتر μ	۲۰۰
خلاصه‌ی نتایج تعمیم یافته‌ی سوق قطبشی.....	۲۰۰
۸-۸- حرکت در میدان‌های با گرادیان‌های موازی: گشتاور مغناطیسی و اثر آینه‌ای.....	۲۰۱
۸-۹-۱- فرمولبندی ریاضی سیستم آینه‌ای.....	۲۰۲
۸-۹-۲- حل معادلات سرعت ذره‌ی باردار.....	۲۰۴
۸-۹-۳- اثر آینه‌ای و ماشین آینه‌ای.....	۲۰۸
تصویری کیفی از اثر آینه‌ای.....	۲۰۸
شرایط کمی اثر آینه‌ای.....	۲۰۹
ماشین آینه‌ای ساده.....	۲۱۰
۸-۱۰- چکیده؛ قرار دادن تمام نتایج در کنار همدیگر.....	۲۱۳
مسائل.....	۲۱۵
فصل نهم: حرکت تک ذره- برخوردهای کولنی.....	۲۲۱
۲-۹- برخوردهای کولنی - رهیافت ریاضی.....	۲۲۳
۱-۲-۹- فرمولبندی مسئله.....	۲۲۳
۲-۲-۹- حل مسئله.....	۲۲۷
۳-۹- فرکانس‌های برخورد ذره نمونه.....	۲۳۰
۱-۳-۹- فرمولبندی کلی.....	۲۳۰
۲-۳-۹- محاسبه‌ی کمیت $\Delta m_e v_e$ و انتگرال‌گیری بر روی پارامتر برخورد.....	۲۳۲
۳-۳-۹- انتگرال‌گیری بر روی سرعت‌های ذرات هدف.....	۲۳۴
۴-۳-۹- خواص v_{ei} و دیگر فرکانس‌های برخورد.....	۲۳۶
۴-۹- بازنگری ماشین آینه‌ای.....	۲۳۸
۱-۴-۹- محاسبه‌ی T_E	۲۳۹
۲-۴-۹- توازن توان در یک ماشین آینه‌ای ساده.....	۲۴۱
۵-۹- گُند شدن سرعت یون‌های پُرانرژی.....	۲۴۲
۱-۵-۹- مدل گُند شدن سرعت یون‌های پُرانرژی.....	۲۴۲
۲-۵-۹- از بین یون‌ها و الکترون‌ها کدام دسته انرژی بیشتری دریافت می‌کنند؟.....	۲۴۴

۳-۵-۹- زمان کُند شدن سرعت ذرات آلفا	۲۴۵
۴-۵-۹- کسر انرژی منتقل شده از ذرات آلفا به الکترون‌ها و یون‌ها	۲۴۷
۵-۵-۹- بررسی گرمایش توسط باریکه‌ی یونی	۲۴۸
۶-۹- الکترون‌های گریزان	۲۴۹
۱-۶-۹- شرط آستانه‌ی وقوع الکترون‌های گریزان	۲۵۰
۲-۶-۹- خواص الکترون‌های گریزان	۲۵۲
۷-۹- برخوردهای منجر به تبادل خالص تکانه و انرژی	۲۵۴
۱-۷-۹- فرمولبندی مسئله	۲۵۵
۲-۷-۹- آهنگ برخورد تبادل خالص تکانه	۲۵۸
۳-۷-۹- آهنگ برخورد منجر به تبادل خالص انرژی	۲۶۱
۸-۹- چکیده	۲۶۳
مسائل	۲۶۴

فصل دهم: مدل دو سیالی خودنگهدار

۱-۱۰- مقدمه	۲۶۷
۲-۱۰- ویژگی‌های یک مدل سیالی	۲۶۸
۱-۲-۱۰- مقادیر میانگین ماکروسکوپیک	۲۶۸
۲-۲-۱۰- اندازه‌ی یک المان سیالی	۲۷۰
۳-۲-۱۰- چه زمانی مدل سیالی پلاسما مفید است؟	۲۷۰
۳-۱۰- بقای جرم	۲۷۱
۴-۱۰- بقای تکانه	۲۷۴
۱-۴-۱۰- مبانی بحث	۲۷۴
۲-۴-۱۰- نیروی درونی	۲۷۵
۳-۴-۱۰- نیروی میدان الکتریکی	۲۷۵
۴-۴-۱۰- نیروی میدان مغناطیسی	۲۷۶
۵-۴-۱۰- نیروی گرادیان فشار	۲۷۶
۶-۴-۱۰- نیروی اصطکاک در اثر برخورد	۲۷۸
۷-۴-۱۰- معادلات بقای تکانه	۲۷۸
۵-۱۰- بقای انرژی	۲۷۹
۱-۵-۱۰- مبانی	۲۷۹
۲-۵-۱۰- آهنگ تغییر انرژی درونی	۲۷۹

۲۸۰	۱۰-۵-۳- کار نیروی تراکم.....
۲۸۲	۱۰-۵-۴- رسانش گرمایی.....
۲۸۴	۱۰-۵-۵- توان آلفا.....
۲۸۴	۱۰-۵-۶- توان گرمایش جانبی خارجی.....
۲۸۴	۱۰-۵-۷- توان گرمایش اهمی.....
۲۸۶	۱۰-۵-۸- تابش ترمزی.....
۲۸۶	۱۰-۵-۹- موازنه‌ی انرژی.....
۲۸۷	۱۰-۵-۱۰- معادلات بقای انرژی.....
۲۸۷	۱۰-۶- چکیده‌ی مدل دوسیالی.....
۲۸۸	مسائل.....
۲۹۱	فصل یازدهم: تعادل ماکروسکوپی مگنتوهیدرودینامیک
۲۹۱	۱۱-۱- مبانی تعادل ماکروسکوپی و پایداری.....
۲۹۳	۱۱-۲- به دست آوردن مدل MHD از مدل دو-سیالی.....
۲۹۳	۱۱-۲-۱- روابط مقیاس مبنا برای مدل MHD.....
۲۹۴	۱۱-۲-۲- ساده سازی‌های بدیهی.....
۲۹۵	۱۱-۲-۳- متغیرهای تک-سیالی.....
۲۹۶	۱۱-۲-۴- پایداری معادلات جرم.....
۲۹۶	۱۱-۲-۵- پایداری معادلات تکانه.....
۲۹۸	۱۱-۲-۶- پایداری معادلات انرژی.....
۲۹۹	۱۱-۲-۷- خلاصه‌ی معادلات MHD.....
۳۰۰	۱۱-۳- به دست آوردن MHD از نظریه‌ی مرکز هدایت.....
۳۰۰	۱۱-۳-۱- ایده‌ی اصلی.....
۳۰۱	۱۱-۳-۲- سوق مرکز هدایت و قانون اهم.....
۳۰۶	۱۱-۳-۴- معادله‌ی تکانه‌ی MHD عمومی.....
۳۰۶	۱۱-۴- تعادل MHD- توصیف کیفی.....
۳۰۹	۱۱-۵- خواص اساسی مدل تعادلی MHD.....
۳۰۹	۱۱-۵-۱- مدل تعادلی MHD.....
۳۱۰	۱۱-۵-۲- خواص عمومی- سطوح شار.....
۳۱۱	۱۱-۵-۳- خواص عمومی- سطوح جریان.....
۳۱۲	۱۱-۵-۴- خواص عمومی- فشار مغناطیسی و تنش.....

۳۱۳	۱۱-۶- توازن فشار شعاعی.....
۳۱۳	۱۱-۶-۱- پنج θ
۳۱۵	۱۱-۶-۲- پنج Z
۳۱۸	۱۱-۶-۳- پنج پیچی.....
۳۱۹	۱۱-۶-۴- تعریف عمومی β در یک پنج پیچی.....
۳۲۱	۱۱-۷- توازن نیروی جنبه‌ای.....
۳۲۱	۱۱-۷-۱- مقدمه.....
۳۲۱	۱۱-۷-۲- نیروی حلقوی.....
۳۲۳	۱۱-۷-۳- نیروی تیوپ اتومبیل.....
۳۲۴	۱۱-۷-۴- نیروی $\frac{1}{R}$
۳۲۵	۱۱-۷-۵- نیروی بازگرداننده به علت دیواره‌ی رسانای کامل.....
۳۲۷	۱۱-۷-۶- نیروی بازگرداننده به علت میدان عمودی.....
۳۲۹	۱۱-۷-۷- به دست آوردن توازن نیروی جنبه‌ای به روش تحلیلی.....
۳۳۵	۱۱-۷-۸- تصویر تعادل نیروی جنبه‌ای تک ذره.....
۳۳۸	۱۱-۷-۹- محاسبه‌ی تبدیل چرخشی.....
۳۴۱	۱۱-۷-۱۰- توازن نیروی جنبه‌ای در اشکال بدون جریان جنبه‌ای.....
۳۴۵	۱۱-۸- خلاصه‌ی تعادل MHD.....
۳۴۶	مسائل.....
۳۵۱	فصل دوازدهم: پایداری ماکروسکوپی MHD
۳۵۱	۱۲-۱- مقدمه.....
۳۵۳	۱۲-۲- مفاهیم عمومی پایداری.....
۳۵۳	۱۲-۲-۱- ناپایداری‌ها در سیستم‌های فیزیکی.....
۳۵۴	۱۲-۲-۲- مفهوم انجماد در خطوط میدان.....
۳۵۶	۱۲-۲-۳- طبقه‌بندی ناپایداری‌های MHD.....
۳۵۹	۱۲-۳- تصویری فیزیکی از ناپایداری‌های MHD.....
۳۵۹	۱۲-۳-۱- مدهای تبدیلی.....
۳۶۱	۱۲-۳-۲- مدهای بالونی.....
۳۶۲	۱۲-۳-۳- ناپایداری‌های محرک جریان.....
۳۶۳	۱۲-۳-۴- تصویر تک-ذره در انحنای مطلوب و نامطلوب.....

۳۶۴	۱۲-۴- فرمولبندی عمومی مسئله‌ی پایداری MHD ایده‌آل
۳۶۵	۱۲-۴-۱- مفهوم پایداری خطی
۳۶۷	۱۲-۴-۲- معادلات پایداری خطی MHD
۳۶۹	۱۲-۴-۳- خواص پایه‌ای پایداری خطی MHD
۳۷۰	۱۲-۵- پلاسمای همگن نامتناهی - امواج MHD
۳۷۱	۱۲-۵-۱- دستیابی عمومی امواج MHD
۳۷۲	۱۲-۵-۲- موج برشی آلفون
۳۷۳	۱۲-۵-۳- موج تراکمی آلفون
۳۷۴	۱۲-۵-۴- موج صوتی
۳۷۵	۱۲-۵-۵- چکیده
۳۷۵	۱۲-۶- پینچ θ خطی
۳۷۶	۱۲-۶-۱- تعادل و اغتشاش
۳۷۷	۱۲-۶-۲- معادله‌ی دیفرانسیلی شعاعی
۳۷۸	۱۲-۶-۳- پایداری پینچ θ
۳۷۹	۱۲-۷-۱- دستیابی به معادله‌ی دیفرانسیل
۳۷۹	۱۲-۷-۲- پایداری مد $m = 0$
۳۸۰	۱۲-۷-۳- تفسیر نمایه‌ها برای پایداری مد $m = 0$
۳۸۲	۱۲-۸- مد $m = 1$ در یک پینچ Z خطی
۳۸۳	۱۲-۸-۱- مولفه‌ی θ معادله‌ی تکانه
۳۸۴	۱۲-۸-۲- مولفه‌ی Z معادله‌ی تکانه
۳۸۴	۱۲-۸-۳- مولفه‌ی r معادله‌ی تکانه
۳۸۵	۱۲-۸-۴- حل معادله‌ی ویژه‌مقدار $m = 1$
۳۸۷	۱۲-۹- چکیده‌ی پایداری
۳۸۸	مسائل
۳۹۳	فصل سیزدهم: ساختارهای گداخت مغناطیسی
۳۹۳	۱۳-۱- مقدمه
۳۹۶	۱۳-۲- دوقطبی شناور (LDX)
۳۹۶	۱۳-۲-۱- معرفی کلی LDX
۳۹۹	۱۳-۲-۲- تعادل LDX
۴۰۲	۱۳-۲-۳- پایداری $m = 1$

۴۰۳	۱۳-۲-۴- پایداری $m = 0$
۴۰۴	۱۳-۲-۴- چکیده‌ی دوقطبی‌شناور $m = 0$
۴۰۵	۱۳-۳- ساختار میدان معکوس (FRC)
۴۰۵	۱۳-۳-۱- معرفی کلی FRC
۴۰۷	۱۳-۳-۲- ساختار MTF
۴۱۰	۱۳-۳-۳- FRC به عنوان منبع انرژی گداخت
۴۱۲	۱۳-۳-۴- چکیده‌ی FRC
۴۱۲	۱۳-۴- مدل جریان سطحی
۴۱۲	۱۳-۴-۱- مقدمه
۴۱۳	۱۳-۴-۲- تعادل جریان سطحی دوبعدی
۴۱۶	۱۳-۴-۳- میدان مغناطیسی اغتشاش یافته در پلاسما
۴۱۷	۱۳-۴-۴- میدان مغناطیسی اغتشاش یافته در خلاء
۴۱۸	۱۳-۴-۵- شرط تطابق توازن فشار
۴۱۹	۱۳-۴-۶- چکیده‌ی مدل جریان سطحی
۴۲۰	۱۳-۵- پینچ میدان معکوس (RFP)
۴۲۰	۱۳-۵-۱- کلیات RFP
۴۲۳	۱۳-۵-۲- تعادل جریان سطحی RFP
۴۲۴	۱۳-۵-۳- پایداری جریان سطحی RFP
۴۲۷	۱۳-۵-۴- مد $m = 0$
۴۲۷	۱۳-۵-۵- مد $m = 1$
۴۳۰	۱۳-۵-۶- مد دیواره‌ی دارای مقاومت
۴۳۶	۱۳-۵-۷- چکیده
۴۳۶	۱۳-۶- اسفرومک
۴۳۶	۱۳-۶-۱- مبانی اسفرومک
۴۴۰	۱۳-۶-۲- تعادل جریان سطحی اسفرومک
۴۴۲	۱۳-۶-۳- ناپایداری خمش $m = 1$
۴۴۵	۱۳-۶-۴- چکیده‌ی اسفرومک
۴۴۵	۱۳-۷- توکامک
۴۴۵	۱۳-۷-۱- مروری بر توکامک
۴۵۱	۱۳-۷-۲- توکامک با سطح مقطع دایروی - تعادل
۴۵۶	۱۳-۷-۳- توکامک با سطح مقطع دایروی - پایداری

۴۷۷	۱۳-۷-۴- توکامک پیشرفته (AT).....
۴۸۱	۱۳-۷-۵- توکامک کروی (ST).....
۴۹۵	۱۳-۷-۶- چکیده ی توکامک.....
۴۹۵	۱۳-۸- استلاراتور.....
۴۹۵	۱۳-۸-۱- معرفی کلی استلاتور.....
۴۹۷	۱۳-۸-۲- دستگاه حلزونی بزرگ (LHD).....
۴۹۹	۱۳-۸-۳- مدارهای مرکز هدایت ذره در یک استلاراتور.....
۵۰۵	۱۳-۸-۴- استلاراتور وندلستین 7-X (W7-X).....
۵۰۸	۱۳-۸-۵- آزمایش ملی استلاتور فشرده (NCSX).....
۵۱۱	۱۳-۸-۶- چکیده.....
۵۱۲	۱۳-۹- بازیابی راکتور گداخت ساده.....
۵۱۲	۱۳-۹-۱- اهداف تحلیل.....
۵۱۳	۱۳-۹-۲- تحلیل راکتور.....
۵۱۷	۱۳-۱۰- چکیده ی کلی.....
۵۱۹	مسائل.....
۵۲۷	فصل چهاردهم: ترابرد
۵۲۷	۱۴-۱ مقدمه.....
۵۲۹	۱۴-۲- ترابرد در یک پلاسمای استوانه ای یک بعدی.....
۵۲۹	۱۴-۲-۱- مدل سیالی.....
۵۳۳	۱۴-۲-۲- محاسبه ی ضریب ترابرد از مدل گام های تصادفی.....
۵۳۶	۱۴-۲-۳- پخش ذره در پلاسمای مغناطیده.....
۵۴۳	۱۴-۲-۴- رسانش حرارتی پلاسمای مغناطیده.....
۵۴۵	۱۴-۲-۵- چکیده.....
۵۴۵	۱۴-۳- حل معادلات ترابرد.....
۵۴۶	۱۴-۳-۱- نیل به تعادل دمایی.....
۵۴۹	۱۴-۳-۲- اثر نمایه گرمایش روی دمای مرکزی.....
۵۵۳	۱۴-۳-۳- گرمایش اهمی منجر به اشتعال.....
۵۵۹	۱۴-۳-۴- خلاصه.....
۵۵۹	۱۴-۴- ترابرد شبه کلاسیکی.....
۵۵۹	۱۴-۴-۱- مقدمه.....

۵۶۰	۱۴-۴-۲- ترابرد شبه کلاسیکی توسط ذرات عبورکننده
۵۶۵	۱۴-۴-۳- ترابرد شبه کلاسیکی توسط ذرات محبوس
۵۷۳	۱۴-۴-۴- جریان خودراه انداز
۵۸۰	۱۴-۴-۵- چکیده
۵۸۱	۱۴-۵- روابط مقیاس بندی تجربی
۵۸۱	۱۴-۵-۱- مقدمه
۵۸۲	۱۴-۵-۲- پدیده ی ترابرد لبه ای در توکامک
۵۹۲	۱۴-۵-۴- چکیده
۵۹۷	۱۴-۶- کاربردهای نظریه ی ترابرد در سیستم آزمایش اشتعال گداخت
۵۹۷	۱۴-۵-۳- مقدار مناسب تجربی برای T_E
۵۹۷	۱۴-۶-۱- مقدمه
۵۹۸	۱۴-۶-۲- آزمایش اشتعال ابرسانا
۶۰۶	۱۴-۶-۳- گرمایش منجر به اشتعال
۶۱۰	۱۴-۶-۴- کسر خودراه انداز
۶۱۵	۱۴-۶-۵- چکیده
۶۱۵	۱۴-۷- چکیده ی کلی
۶۱۶	مسائل
۶۲۱	فصل پانزدهم: گرمایش و تولید جریان
۶۲۱	۱۵-۱- مقدمه
۶۲۴	۱۵-۲- گرمایش اهمی
۶۲۵	۱۵-۲-۱- مدل گرمایش اهمی
۶۲۵	۱۵-۲-۲- تعادل توان اهمی
۶۲۵	۱۵-۲-۳- تلفات رسانای حرارتی
۶۲۶	۱۵-۲-۴- توان اهمی
۶۲۷	۱۵-۲-۵- تعادل توان اهمی
۶۲۸	۱۵- گرمایش باریکه خشی
۶۲۸	۱۵-۳-۱- مقدمه
۶۳۰	۱۵-۳-۲- چگونه یک باریکه ی خشی تولید می شود؟
۶۳۳	۱۵-۳-۳- مسئله ی فیزیکی: انرژی مورد نیاز برای نفوذ باریکه
۶۳۶	۱۵-۳-۴- مسئله ی مربوط به فن آوری: بازدهی تبدیل خشی کننده

۶۴۱	 خلاصه	۱۵-۳-۵
۶۴۱	 مفاهیم پایه‌ای گرمایش RF و جریان راه‌اندازی	۱۵-۴
۶۴۱	 مقدمه	۱۵-۴-۱
۶۴۳	 چشمه‌های RF و ساختارهای ارسال امواج	۱۵-۴-۲
۶۴۹	 مفاهیم پایه‌ای انتشار امواج الکترومغناطیسی در پلاسما	۱۵-۴-۳
۶۵۸	 تحلیل انتشار امواج الکترومغناطیسی در پلاسما	۱۵-۴-۴
۶۶۲	 رابطه‌ی پراکندگی پلاسمای سرد	۱۵-۵
۶۶۴	 میرایی بدون برخورد	۱۵-۶
۶۶۵	 میرایی لانداو	۱۵-۶-۱
۶۷۱	 میرایی سیکلوترونی مد X	۱۵-۶-۲
۶۷۸	 میرایی سیکلوترونی مد O و میرایی تعمیم‌یافته‌ی لانداو	۱۵-۶-۳
۶۸۲	 خلاصه	۱۵-۶-۴
۶۸۲	 گرمایش سیکلوترونی الکترون (ECH)	۱۵-۷
۶۸۵	 دستیابی به مد O	۱۵-۷-۱
۶۸۶	 جذب مد O	۱۵-۷-۲
۶۸۸	 دستیابی به مد X	۱۵-۷-۳
۶۹۱	 جذب مد X	۱۵-۷-۴
۶۹۳	 چکیده	۱۵-۷-۴
۶۹۳	 گرمایش سیکلوترونی یون	۱۵-۸
۶۹۶	 قطبش و دسترسی حالت پایه‌ی مد X	۱۵-۸-۱
۶۹۷	 قابلیت دسترسی هارمونیک دوم مد سریع	۱۵-۸-۲
۶۹۸	 جذب هارمونیک دوم مد سریع	۱۵-۸-۳
۷۰۰	 دسترسی اقلیت موج سریع	۱۵-۸-۴
۷۰۳	 جذب اقلیت موج سریع	۱۵-۸-۵
۷۰۷	 چکیده	۱۵-۸-۶
۷۰۸	 راه‌اندازی جریان هیبرید پایین‌تر	۱۵-۹
۷۰۸	 مقدمه	۱۵-۹-۱
۷۱۰	 قابلیت دسترسی هیبرید پایین‌تر	۱۵-۹-۲
۷۱۵	 جذب توان موج آهسته	۱۵-۹-۳
۷۲۰	 LHCD	۱۵-۹-۴
۷۲۴	 چکیده	۱۵-۹-۵

۷۲۵	 چکیده ی کلی
۷۲۶	 مسائل
۷۳۵	 فصل شانزده: آینده ی تحقیقات گداخت هسته ای
۷۳۵	 ۱-۱۶- مقدمه
۷۳۵	 ۲-۱۶- وضعیت کنونی تحقیقات فیزیک پلاسما
۷۳۶	 ۱-۱۶-۲- تعادل و پایداری ماکروسکوپی
۷۳۶	 ۲-۱۶-۲- ترابرد
۷۳۷	 ۳-۱۶-۲- گرمایش و تحریک جریان
۷۳۸	 ۴-۱۶-۲- فیزیک پلاسمای ذره ی آلفا
۷۳۹	 ۵-۱۶-۲- مشکلات مربوط به فن آوری گداخت
۷۴۰	 ۳-۱۶- ایتز
۷۴۰	 ۱-۱۶-۳- تاریخچه
۷۴۳	 ۲-۱۶-۳- ایتز جدید
۷۴۷	 ۴-۱۶- نیروگاه گداخت نمونه
۷۴۹	 ضمیمه (۱): محاسبه ی تحلیلی $\langle \sigma v \rangle$
۷۵۵	 ضمیمه (۲): تابش ناشی از بار شتاب یافته
۷۶۱	 ضمیمه (۳):
۷۶۵	 ضمیمه (۴):
۷۶۷	 نمایه
۷۷۵	 واژه نامه فارسی به انگلیسی
۷۷۷	 واژه نامه انگلیسی به فارسی

معرفی کتاب

در دهه‌های اخیر دانشمندان سراسر دنیا علاقه‌ی روزافزونی به تحقیقات گداخت هسته‌ای نشان داده‌اند. چرا که برای تامین نیاز در حال رشد انرژی الکتریسیته در آینده‌ای نه چندان دور به منابع جدید و گسترده‌ی انرژی سازگار با محیط‌زیست نیازمند خواهیم بود. به همین دلیل پیمانی بین‌المللی برای ساخت یک دستگاه گداخت بزرگ در مقیاس نیروگاه برق به نام "راکتور آزمایشی گرماسته‌ای بین‌المللی (ایتر)" با اعتبار ۸ میلیارد دلار منعقد شده است.

کتاب فیزیک پلاسما و انرژی گداخت‌هسته‌ای حاصل تدریس این درس در دوره‌ی کارشناسی ارشد در دانشگاه ام.آی.تی بوده است. مطالب این کتاب با ارائه‌ی دورنمایی از نیاز انرژی بشر در آینده، روش‌های کنونی تولید انرژی و قابلیت‌های انرژی گداخت در آینده آغاز شده و در ادامه، موضوعاتی همچون تولید انرژی گداخت، توازن انرژی و طراحی یک راکتور گداخت ساده بررسی خواهند شد. سپس موضوع‌های مربوط به فیزیک پلاسما با تمرکز بر جنبه‌های فیزیکی توان گداخت از قبیل تعادل ماکروسکوپی، پایداری، ترابرد و گرمایش مورد بحث قرار گرفته است.

این کتاب برای مطالعه‌ی دانشجویان دوره‌های تحصیلات تکمیلی و پژوهشگران فیزیک کاربردی و مهندسی هسته‌ای پیشنهاد می‌شود. مسائل فراوانی که حاصل دو دهه تدریس این درس در دانشگاه ام.آی.تی بوده است، در انتهای هر فصل ارائه شده‌اند.

جفری پی. فریدبرگ استاد و رئیس سابق دانشکده‌ی علوم و مهندسی هسته‌ای و همچنین مدیر مرکز علوم پلاسما و گداخت در دانشگاه ام.آی.تی است. این مرکز، مهم‌ترین آزمایشگاه تحقیقاتی گداخت در دانشگاه ام.آی.تی می‌باشد.

پیش‌گفتار مترجمین

با افزایش جمعیت جهان به ۸/۲ بیلیون نفر تا سال ۲۰۳۰، انرژی مورد نیاز بشر به ۶۰٪ بیشتر از میزان فعلی آن خواهد رسید. حدود دوسوم رشد انرژی در کشورهای در حال توسعه رخ داده و طبق پیش‌بینی آژانس بین‌المللی انرژی در سال ۲۰۳۰ همچنان سوخت‌های فسیلی بیش از ۸۹٪ تقاضای انرژی را برآورده خواهند کرد (نفت ۳۷٪، گاز ۲۸٪ و ذغال سنگ ۲۴٪). مصرف سوخت‌های فسیلی بخاطر محدود بودن این منابع و انتشار دی‌اکسیدکربن می‌بایست کاهش یابد. انرژی پاک برق‌آبی با محدودیت‌های جغرافیایی مواجه بوده و انرژی‌های تجدیدپذیر همچون انرژی‌های خورشیدی و بادی به علت نیازمندی‌شان به ناحیه‌ی وسیع و در نتیجه، چگالی پایین انرژی، در ظرفیت‌های بالا مقرون به صرفه نیستند. البته تلاش در جهت تنوع‌بخشی در منابع انرژی یک کشور، لازمه‌ی توسعه‌یافتگی و رشد پایدار به حساب آمده و می‌بایست با افزایش سهم هر یک از منابع موجود انرژی در چارچوب برنامه‌های کلان انرژی ویژه‌ی آن کشور دنبال شود. در حال حاضر حدود ۴۰۰ نیروگاه شکافت هسته‌ای در دنیا مشغول فعالیت هستند که حدود یک ششم برق تولیدی جهان را تولید می‌کنند. پیش‌بینی می‌شود که تولید برق توسط این نیروگاه‌ها از ۲۵۲۱ میلیارد کیلووات ساعت به ۲۹۰۶ میلیارد کیلووات ساعت تا سال ۲۰۲۵ برسد. افزایش عمده‌ی تولید برق هسته‌ای در کشورهای در حال توسعه رخ خواهد داد و از ۴۴ GWh گیگاوات ساعت ظرفیت جدید نیروگاه‌های هسته‌ای آتی، ۱۹ GWh در چین، ۱۵ GWh در کره‌ی جنوبی و ۶ GWh در هند نصب خواهند شد. گرچه شکافت هسته‌ای امروزه مورد توجه جدی‌ی بیشتر کشورها و از جمله، ایران قرار گرفته‌است، اما عمده‌ترین معضل سوخت‌های فسیلی که همان محدودیت منابع است را داراست. چرا که اورانیم موجود در جهان تقریباً چهار برابر منابع فسیلی کنونی است و نمی‌توان از آن به منبع جامع تامین انرژی در آینده‌ای دور نام برد. بشر باز بهترین ایده را از طبیعت گرفت و کشف منشأ انرژی عظیم حاصل از ستارگان که گداخت هسته‌ای نامیده شده و اساس کتاب حاضر را تشکیل می‌دهد، او را به سمت تحقیقات در راستای ساخت راکتورهایی که وقوع گداخت هسته‌ای را بر روی زمین عملی و مقرون به صرفه نماید، سوق داد.

علم و فن‌آوری گداخت هسته‌ای به‌ویژه از هشتاد سال گذشته تا کنون با رشد فزاینده‌ای مواجه بوده است. پس از کشف استون مبنی بر اینکه جرم هسته‌ی هلیوم حدود چهار برابر جرم هسته‌ی هیدروژن است (۱۹۲۰م)، ادینگتون ثابت کرد که از تبدیل هسته‌ی هیدروژن به هسته‌ی هلیوم، توان کافی برای تولید انرژی خورشید بدست می‌آید (۱۹۲۶م). با کشف مکانیک کوانتومی و در نظرگیری تابع موج شرودینگر برای اجزای سازنده‌ی اتم، گاموف (۱۹۲۸م)، گارنی و کندون (۱۹۲۹م) احتمال تونل‌زنی از یک سد پتانسیل هسته‌ای را حساب کردند. اتکینسون و هاترمن نشان دادند که پدیده‌ی تونل‌زنی عامل اصلی وقوع واکنش‌های گداخت بین هسته‌های هیدروژن در ستاره‌هاست (۱۹۲۹م).

کوکرافت و والتون برای نخستین بار از بمباران نمونه‌های لیتیومی با باریکه‌ی پروتون خارج شده از شتاب‌دهنده‌ی با انرژی 100 keV موفق به انجام واکنش گداخت هسته‌ای شدند (۱۹۳۲م). دو سال بعد، یک تیم تحقیقاتی به سرپرستی رادرفورد و دانشمندانی از قبیل اولیفنت، لوئیس، هارت وک، کمپتون، شایر و کروتر، واکنش‌های گداخت فراوانی بین عناصر سبک و پروتون‌ها یا دوترون‌های شتاب‌یافته انجام دادند. دوتریم توسط اوری و همکارانش کشف شد (۱۹۳۲م) و پس از انجام واکنش‌های گداخت دوتریم، تریتیم نیز در سال ۱۹۳۴ میلادی کشف شد. ویتساگر واکنش‌های زنجیری pp را به عنوان منبع انرژی خورشید پیشنهاد کرد (۱۹۳۷م) و به نظریه‌ی چرخه‌ی CNO را برای تولید انرژی در ستارگان پیشنهاد داد (۱۹۳۹م). در چند سال پس از آن، تلاش‌های دانشمندانی چون بته، وان ویتساگر، گاموف، تلمر و برخی دیگر به سنتز هسته‌ای ستارگان منجر شده و واکنش‌های اصلی گداخت در ستارگان تشخیص داده شد.

در حین جنگ جهانی دوم گام‌های نخست تحقیقات گداخت هسته‌ای توسط دانشمندانی همچون فرمی، تلمر و کونوپینسکی مورد بحث قرار می‌گرفت. با اندازه‌گیری‌های دقیق‌تر سطح مقطع واکنش‌های گداخت، مشخص شد که سطح مقطع DT خیلی از سطح مقطع DD بزرگ‌تر سطح مقطع‌های واکنش‌های گداخت بر پایه‌ی سوخت دوتریم مجدداً با دقت بسیار بالاتری مشخص شد (۱۹۵۴م). اندکی پس از جنگ جهانی دوم تامسون و بلکمن از دانشگاه لندن اختراعی را در مورد یک راکتور گداخت ثبت کردند (۱۹۴۶م). اگرچه مقیاس راکتور ارائه شده توسط آنها چندان واقع بینانه نبود، ولی محفظه‌ی چنبره‌ای شکل تحت خلاء و تولید جریان توسط امواج رادیو فرکانسی که در توکامک‌های امروزی نیز از آنها استفاده می‌شود، از نکات جالب توجه این طرح بود. بین سال‌های ۱۹۴۶ تا ۱۹۵۰ میلادی تحقیقات محرمانه‌ای در چند کشور در حال انجام بود و از سال ۱۹۵۸ میلادی نتایج بخش بزرگی از این تحقیقات در جریان کنفرانس اتم‌ها برای صلح علنی شد. در پی آن، طرح‌های تحقیقاتی بزرگی در زمینه‌ی گداخت هسته‌ای توسط کشورهای صنعتی آغاز گشت و کتاب‌هایی در زمینه‌ی واکنش‌های گداخت گرما هسته‌ای توسط دانشمندانی همچون اسپیتزر (۱۹۶۹)، گلاستون و لاوبرگ (۱۹۶۰)، رز و کلارک (۱۹۶۱) و آرتیسموویچ (۱۹۶۴) به رشته‌ی تحریر درآمد.

در سال ۱۹۶۸ میلادی دانشمندان انستیتو کورچاتوف روسیه خبر دادند که به یک ساختار مطلوب محصورساز مغناطیسی به نام توکامک دست یافته‌اند. یک سال بعد، گروهی از دانشمندان انگلستان به مسکو سفر کرده و با اندازه‌گیری دمای پلاسمای توکامک T3 ، این ادعا را تأیید کردند. از آن پس کشورهای درگیر با تحقیقات گداخت هسته‌ای، الگوی توکامک را به عنوان بهترین گزینه برای تولید انرژی گداخت پذیرفتند و تا به امروز فقط استلراتورها به عنوان گزینه‌ی جایگزین توکامک‌ها مطرح هستند. در میانه‌ی دهه‌ی ۱۹۷۰ میلادی به دلیل افزایش چشمگیر بودجه‌های تخصیص یافته برای تحقیقات گداخت هسته‌ای و نتایج تجربی رضایت بخش، توکامک‌های بزرگ و پیشرفته‌ای نظیر JET ، JT60 و TFTR ساخته شد. فرانسه با ساخت ماشین گداخت TFR و فراهم کردن فن‌آوری

و فیزیک عملکرد پیوسته‌ی توکامک با معرفی توکامک TORE SUPRA پای اروپا را بصورت جدی در پروژه‌های تحقیقاتی توکامک باز کرد. در انتهای دهه‌ی ۱۹۶۰ میلادی، توکامک‌های JET و JT60 – U با محصورساختن پلاسمای دوتریم به حد سربه سری توان نزدیک شدند. همچنین طول پالس‌های پلازما در توکامک‌های بزرگ تا دو دقیقه افزایش یافت (TORE SUPRA) و پایه‌ای برای توسعه‌ی توکامک‌های با عملکرد پیوسته محسوب شد. دستاورد بزرگ دیگری که باید به آن اشاره کنیم، تولید ۱۷MW توان گداخت توسط پلاسمای دوتریم-تریتیم محصور شده در توکامک JET در سال ۱۹۹۷ میلادی می‌باشد. برای دستیابی به آرزوی تولید انرژی مقرون به صرفه از واکنش‌های گداخت هسته‌ای، طرح‌های بلند پروازانه‌تری جهت حفظ پالس‌های جریان پلازما با عمر بیش از هزار ثانیه که در حین آن پلازما به اندازه‌ی کافی جهت واکنش‌های گداخت داغ شود، مورد نیاز است. این چالش‌ها در پروژه‌ی ایتر (ITER) مورد مطالعه و بررسی قرار خواهد گرفت و قرار است توکامک ایتر با مصرف ۵۰MW توان، ۵۰۰MW توان تولید کند. با موفقیت در اهداف مورد نظر توکامک ایتر، می‌توان آینده‌ی روشنی را برای تامین انرژی بشر در قرن‌های آتی ترسیم کرد.

بدون تردید دستیابی به فن‌آوری کامل گداخت هسته‌ای (به ویژه در سرفصل‌های فن‌آوری راکتور گداخت، چرخه‌ی سوخت گداخت و فن‌آوری پوشش بارور، ساختارهای ابرسانای توان بالا، فیزیک ناپایداری‌های پلاسمای گداخت و کنترل هوشمند پلازما، گرمایش و تزریق سوخت موثر) و الزامات دستیابی به انرژی مقرون به صرفه‌ی گداخت، علاوه بر آنکه منبع جدید، سرشار و بی‌پایانی از انرژی سازگار با محیط زیست را به بشر تحویل خواهد داد، به دلیل برخورداری از سیستم‌ها و فن‌آوری‌های پیشرفته نظیر ساختار عظیم ابرسانایی، سیستم‌های گرمایش موج توان بالا، مواد پیشرفته‌ی پوشش بارور و ... به همراه خود سبب جهشی علمی در بسیاری از عرصه‌های علمی و فن‌آوری پیشرفته در کشورهای پیشرو در این حوزه خواهد شد.

کتاب حاضر که برای ترجمه در نظر گرفته شده‌است، یکی از معتبرترین منابع آموزشی در زمینه‌ی فیزیک و مهندسی گداخت هسته‌ای به شمار می‌رود که سال‌ها در دانشگاه ام. آی. تی تدریس شده‌است. همچنین، متن ترجمه‌شده‌ی این کتاب که حاصل سه سال کار مستمر و دقیق بوده‌است، در پنج نیمسال تحصیلی در دوره‌های کارشناسی ارشد و دکتری مهندسی گداخت هسته‌ای دانشگاه صنعتی امیرکبیر تدریس شده و اشکالات آن تا حد توان رفع گردیده‌است. با این حال، مترجمین خود را مسئول همه‌ی اشکالات احتمالی دانسته و از همه‌ی دانشجویان، اساتید و محققین ارجمند تقاضا می‌کند نواقص را گوشزد نمایند تا در چاپ‌های آتی، اصلاح گردد.

مرتضی حبیبی - رضا امراللهی

پیشگفتار مولف

فیزیک پلاسما و گداخت هسته‌ای کتابی درسی با تمرکز بر انرژی گداخت مغناطیسی است. هدف از این کتاب، ارائه‌ی چشم‌اندازی وسیع و در عین حال ساده از موضوعات اساسی فیزیک پلاسما جهت دستیابی به بیش از نیم قرن رویای انرژی گداخت مقرون به صرفه می‌باشد.

مطالب این کتاب به گونه‌ای ارائه شده‌اند که برای تدریس در دانشکده‌های فیزیک کاربردی یا گداخت و مهندسی هسته‌ای مناسب باشند. انتخاب موضوعات، نحوه چیدمان آنها و این حقیقت که مطالب کتاب به نحوی روایت شده‌اند که به هدف نهایی تامین انرژی گداخت نزدیک شویم، از مشخصه‌های چنین دانشکده‌های کاربردی است. به ویژه در این کتاب بحث را با طراحی یک راکتور گداخت ساده بر مبنای اصول فیزیک هسته‌ای، توازن توان و برخی از قیده‌های اساسی مهندسی شروع خواهیم کرد. نکته‌ی قابل توجه آن است که برای طراحی اولیه‌ی یک راکتور گداخت از اطلاعات فیزیک پلاسما استفاده‌ی چندانی نمی‌شود. البته پس از طراحی راکتور گداخت، شرایطی پیش روی فیزیک پلاسما نهاده می‌شود که عملی شدن تولید انرژی از گداخت مغناطیسی به برآورده کردن این شرایط وابسته است. به بیانی دقیق‌تر، طراحی یک راکتور گداخت ساده، مقادیر مشخصی را برای پارامترهای فشار، دما، میدان مغناطیسی و هندسه‌ی پلاسما پیشنهاد می‌کند که برای تامین انرژی مقرون به صرفه‌ی گداخت، برآورده کردن این نیازها با استفاده از علم فیزیک پلاسما ضروری است. در نتیجه، مقادیر اولیه‌ی پارامترهای پلاسما پس از طراحی راکتور مشخص شده و در اختیار فیزیکدانان پلاسما قرار می‌گیرد تا راه‌هایی را برای دستیابی به این مقادیر در شرایط کاری مورد نظر کشف کنند. بر این اساس لازم است مسائل مربوط به تعادل و پایداری ماکروسکوپی، ترابرد و گرمایش پلاسما بطور جداگانه مورد بررسی قرار گیرند. ساختار این کتاب با تمرکز بر انرژی گداخت پی‌ریزی شده است و دانشمندان گداخت باید به این سؤال جواب دهند که چگونه می‌توان راه‌هایی را برای انجام صحیح ماموریتی که در راه بهره‌گیری مقرون به صرفه از انرژی گداخت هسته‌ای طرح‌ریزی شده است، کشف کرد.

چرا چنین کتابی در حال حاضر نوشته شده است؟ با عنایت به عزم بین‌المللی که جهت توسعه‌ی منابع جدید و پایدار انرژی وجود دارد، تحقیقات بر روی گداخت هسته‌ای افزایش یافته است. با امضای قرارداد ساخت راکتور آزمایشی گداخت گرما هسته‌ای (ایتر) پیش‌بینی می‌شود علاقه‌ی روزافزونی در دانشجویان جدید و دانشمندان جوان برای پیوستن به برنامه‌ی توسعه‌ی گداخت هسته‌ای ایجاد شود. هر چند راه درازی تا دستیابی به انرژی مقرون به صرفه گداخت هسته‌ای باقی مانده است، اما ظهور ایتر می‌تواند به افزایش علاقه‌ی کنونی در تحقیقات بین‌المللی فیزیک پلاسما و گداخت هسته‌ای بینجامد. چالش‌های باورنکردنی پیش روی مسائل علمی و مهندسی راکتور گداخت هسته‌ای با رویای دستیابی به یک سیستم مولد انرژی که از مزایای سوخت تمام نشدنی، سازگاری