نگاهی به

آزمایشگاه ملی مادهٔ چگال در پژوهشگاه

رضا عسگری*

علم مادهٔ چگال به طور خاص به مطالعهٔ خواص جدید و پدیده‌های نوینی از ماده می‌پردازد که حاصل برهم‌کنش نسبتاً قوی اجزای ماده‌اند. هدف غایی این علم، فهم پدیده‌ها و رفتارهای دسته‌جمعی اجزای ماده است؛ مواد مورد نظر یا به صورت طبیعی وجود دارند و یا مواد جدیدی هستند که به منظور خاصی ساخته شده‌اند. برای مطالعهٔ آنها از قوانین مکانیک کوانتومی، مکانیک آماری، و الکترودینامیک استفاده می‌کنیم.

هدف اصلی فیزیک تجربی مادهٔ چگال، تحقیق برای فهم رفتار ماکروسکوپی مادهٔ چگال است که حاصل برهم‌کنش‌های میکروسکوپی بین اجزای تشکیل‌دهندهٔ ماده است. مفاهیم اساسی ارائه‌شده در فیزیک مادهٔ چگال غالباً تأثیر بسیار مهمی در دیگر موضوعات علم فیزیک داشته‌اند. باید یادآوری کرد پاسخ سؤالات جدید علمی را نمی‌توان در کتاب‌های استاندارد و درسی یافت. اساس آنچه که دانشمندان به آن باور دارند، نتیجهٔ جمع‌آوری اطلاعات دقیق و تحلیل شواهد تجربی است. آزمایشگاه پایهٔ اساسی و حیاتی علم است. در آزمایشگاه علم را یاد می‌گیریم، سؤال می‌کنیم، روش علمی برای مطالعهٔ موضوع پیدا می‌کنیم، داده‌های مشاهده را جمع‌آوری می‌کنیم، آنها را تحلیل می‌کنیم و به دنبال سؤالات جدید می‌گردیم. به عبارتی، آزمایشگاه محلی است که به نیازهای پژوهشی پاسخ عملی می‌دهد.

تحقیق در فیزیک مادهٔ چگال چه به لحاظ نظری و چه از نظر تجربی منجر به کاربردهای فراوانی شده است که از آن جمله می‌توان از ابداع و توسعهٔ ترانزیستورهای نیمه‌رسانا و فناوری لیزر و دستگاه‌های بیمارستانی MRI نام برد. پدیده‌های متعددی وجود دارند که در چارچوب فناوری نانو مطالعه شده‌اند اما در حقیقت خاستگاه آنها علم مادهٔ چگال بوده است. به طور مثال می‌توان به روش‌های مدرنی اشاره کرد مانند میکروسکوپ تونلی روبشی که براساس روبش سطح یک رسانا یا نیمه‌رسانای القاییده کار می‌کند. این وسیله نوک بسیار باریکی در حد چند نانومتر دارد و براساس تغییر در میزان جریان عبوری برحسب فاصله عمل می‌کند. از این دستگاه برای کنترل و مطالعهٔ فرایندها در ابعاد نانو استفاده می‌شود. سیستم‌های زیادی از مادهٔ چگال مانند نقاط کوانتومی یا SQUID وجود دارند که برای کاربرد در «محاسبات کوانتومی» پیشنهاد شده‌اند. مادهٔ چگال همچنین کاربردهای مهمی در بیوفیزیک، مثلاً در تصویربرداری تشدید مغناطیسی، دارد. علم مادهٔ چگال هم‌پوشانی بسیار زیادی با علوم دیگر مانند شیمی، بیوفیزیک، علم مواد، و مهندسی الکترنیک دارد. بنابراین، دامنهٔ آن بسیار گسترده است و در زندگی روزمره با دستگاه‌ها و وسایلی سروکار داریم که روزی موضوع تحقیقی دانشمندان علم مادهٔ چگال بوده‌اند.

در آزمایشگاه مادهٔ چگال، کندوکاو تجربی برای کشف خواص نوین مواد انجام می‌شود. کندوکاو تجربی شامل تحقیق در اثرات حاصل از میدان‌های

* مدیر طرح ملی آزمایشگاه مادهٔ چگال

الکترومغناطیسی، اندازه‌گیری توابع پاسخ، خواص ترابردی و گرماسنجی است. روش‌های تجربی که به طور معمول به کار می‌روند عبارت‌اند از اسپکتروسکوپی با استفاده از اشعهٔ X، نور مادون قرمز و پراکندگی‌های غیر الاستیک نوترون، مطالعهٔ پاسخ گرمایی مانند ظرفیت گرمایی و اندازه‌گیری ترابرد از طریق اندازه‌گیری گرما و هدایت گرمایی.

در آزمایشگاه ماده چگال همچنین به اندازه‌گیری‌هایی مختلف از طریق فرایند پراکندگی می‌پردازیم. پراکندگی اشعهٔ X، فوتون‌های نوری و پراکندگی نوترون مصداق‌های آن است. انتخاب نوع پراکندگی به وضوح وابسته به محدودهٔ انرژی مورد نظر است. نور مرئی در حدود 1eV انرژی دارد و برای کاربردهایی نظیر مطالعهٔ ثابت دی‌الکتریک مواد و ضریب شکست از آن استفاده می‌شود. اشعهٔ X با انرژی حدود چند keV خواص اتمی را آشکار می‌کند و برای اندازه‌گیری چگالی باری الکترون‌ها به کار می‌رود. نوترون‌ها به دلیل گشتاور مغناطیسی می‌توانند با الکترون‌های مغناطیسی جامد برهم‌کنش داشته باشند و بنابراین روش‌های نوترونی در بررسی ساختارهای بلورهای مغناطیسی با ارزش‌اند. از پراکندگی نوترون با انرژی حدود ۱eV ۰٫۰ برای اندازه‌گیری در محدودهٔ اتمی استفاده می‌شود و برای مطالعهٔ پراکندگی هسته‌ها، اسپین الکترون‌ها و خواص مغناطیسی به کار می‌رود.

اندازه‌گیری‌های کولنی و پراکندگی مات نیز که توسط پرتوهای الکترونی با انرژی حدود چند صد eV انجام می‌شوند، برای بررسی غیرمستقیم چگالی الکترونی موضعی به کار می‌روند. الکترون‌ها به دلیل باردار بودن به شدت با ماده برهم‌کنش دارند و فقط تا فاصلهٔ نسبتاً کوتاهی به درون بلور نفوذ می‌کنند. همچنین اسپکتروسکوپی لیزر به‌عنوان وسیله‌ای برای مطالعهٔ پدیده‌ها با انرژی‌ای در محدودهٔ نور مرئی به کار می‌رود. به عنوان مثال، می‌توان به مطالعهٔ رفتار اپتیک غیرخطی و گذارهای ممنوعه در مواد اشاره کرد.

در مادهٔ چگال تجربی، میدان‌های مغناطیسی خارجی بسیار شبیه متغیرهای ترمودینامیکی عمل می‌کنند. با آنها می‌توان حالت ماده، گذار فازهای مجاز و خواص مواد را بررسی کرد. تشدید مغناطیسی هسته روشی است که در آن از میدان‌های مغناطیسی خارجی برای یافتن مدهای تشدیدی الکترون‌های منفرد استفاده می‌شود و می‌تواند اطلاعات فیزیکی در خصوص اتم‌ها، مولکول‌ها و ساختار باند الکترون‌ها با عناصر همسایهٔ آنها را فراهم نماید. آزمایشگاه تشدید مغناطیسی هسته توسط میدان‌های مغناطیسی خارجی با قدرت حداکثر ۶۵ تسلا ساخته می‌شود.

روش موسوم به «نوسانات کوانتومی» یک روش آزمایشگاهی دیگر است که در آن از میدان‌های مغناطیسی بسیار قوی برای مطالعهٔ خواص مواد مانند هندسهٔ سطح فرمی استفاده می‌شود. اثر کوانتومی هال مثال دیگری است از کاربرد میدان مغناطیسی قوی برای مطالعهٔ خواص توپولوژی ماده مانند اندازه‌گیری زاویهٔ چرن-سایمون و عدد چرن.

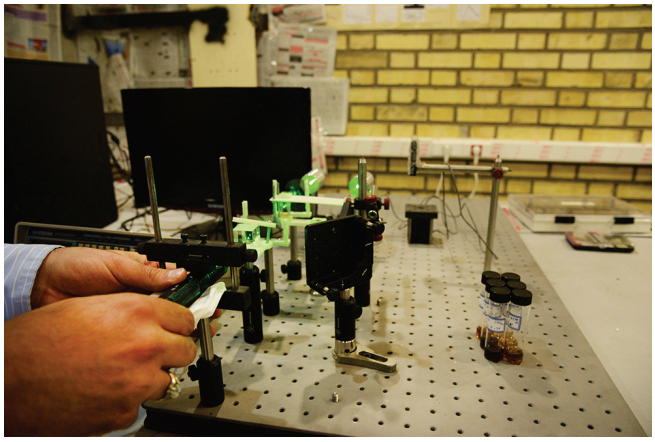
به دام انداختن اتم‌های فوق سرد در ساختار نوری نیز یک روش تجربی متداول در فیزیک مادهٔ چگال است. در این روش از لیزرهای نوری برای تولید طرح‌های تداخلی شبیه به کریستال استفاده می‌شود. در این وضعیت، اتم‌ها

یا مولکول‌ها را می‌توان در مکان‌های دلخواه و در دمای بسیار کم، محدود کرد. اتم‌های فوق‌سرد در کریستال‌های نوری به عنوان «شبیه‌ساز کوانتومی» رفتار می‌کنند. با این روش می‌توان ساختارهای بسیار پیچیده را شبیه‌سازی کرد و خواص فیزیکی و رفتار آنها را کنترل نمود.

اسپین ترونیک نیز حوزهٔ جدیدی از فناوری است که در خصوص فرایند انتقال اطلاعات به کمک اسپین ذرات از آن استفاده می‌شود. در اسپین الکترونیک، اسپین ذرات نقش اساسی را بازی می‌کند و ترابرد مبتنی بر اسپین بسیار مورد توجه است.

پژوهشگاه دانش‌های بنیادی با توجه به لزوم تشکیل آزمایشگاه‌های تحقیقاتی در کنار فعالیت‌های نظری، تأسیس آزمایشگاه ملی مادهٔ چگال را در مهر ۱۳۹۳ در دستور کار خود قرار داد. این آزمایشگاه با نگاه ملی و مطابق با سند نقشهٔ جامع علمی کشور که اولویت الف آن توسعهٔ علم و فناوری به ویژه در مورد مادهٔ چگال است، تأسیس گردید. مأموریت آن، کار تحقیقاتی درجهٔ یک آزمایشگاهی در سطح ملی و بین‌المللی و حرکت در مرز دانش برای تولید علم و توسعهٔ فناوری است. هدف مشخص آزمایشگاه، توسعهٔ فناوری همراه با ارتقای دانش تجربی در رشته‌هایی از علم است که ارتباط تنگاتنگ با علم مادهٔ چگال، بیوفیزیک و علم نانو دارند. وجود این آزمایشگاه در پژوهشگاه این امکان را فراهم می‌کند که همکاری نزدیک بین گروه‌های نظری پژوهشگاه (به‌خصوص پژوهشکدهٔ علوم نانو و گروه مادهٔ چگال و مکانیک آماریِ پژوهشکدهٔ فیزیک) با پروژه‌های تجربی شکل گیرد. این آزمایشگاه همکاری‌های بین‌المللی با دیگر مراکز پژوهشی در دنیا دارد و بعضی از پروژه‌های تحقیقاتی خود را به طور مشترک با آنها انجام می‌دهد.

آزمایشگاه تحقیقاتی ما کار خود را با رویکرد پیشرفت در دو حوزهٔ «فیزیک مواد دوبعدی کریستالی به خصوص اکسید گرافین (graphene oxide)» و «مواد دانه‌ای (granular materials)» و تعریف پروژه‌های متعدد در آنها شروع کرد. شش عضو پسادکتری با حمایت مالی بنیاد ملی نخبگان و فدراسیون سرآمدان علمی کشور در آزمایشگاه کار کرده‌اند که سه نفر از آنها دورهٔ پسادکتری خود را به اتمام رسانده و هم‌اکنون به صورت پاره‌وقت با آزمایشگاه همکاری علمی دارند و همچنین ۵ دانشجوی دکتری نیز با آزمایشگاه همکاری علمی دارند. اخیراً در جهت استخدام عضو هیئت



علمی برای آزمایشگاه نیز اقدام شده است.

برنامهٔ مطالعاتی آزمایشگاه از آغاز زیرنظر شورای علمی آزمایشگاه بوده و تمام تصمیم‌سازی‌های علمی در آن شورا انجام می‌گیرد. اولویت نخست در آزمایشگاه، داشتن برنامهٔ بلندمدت و تعریف پروژه‌های کلان و مشخص است. این پروژه‌ها قابل تفکیک به اجزاء کوچکتری هستند. فازهای مختلف پروژهٔ کلان می‌باید نتایج محسوسی داشته باشد تا آزمایشگاه بتواند ضمن حرکت رو به جلو و رشد، توانایی ارزیابی خود را نیز داشته باشد. همچنین داشتن محققان کارامد و با دانش و تجربهٔ گسترده در امر آزمایشگاهی که بتوانند برنامه‌های علمی آزمایشگاه را به پیش ببرند از جمله پایه‌ای‌ترین نیازهای یک آزمایشگاه تحقیقاتی است و در نهایت، وسایل و دستگاه‌های پیشرفتهٔ متناسب با برنامه‌های آزمایشگاه نیز مورد نیاز است. شایان ذکر است که خرید تجهیزات تنها در صورتی انجام می‌گیرد که علاوه بر بررسی نیازمندی‌ها، دستگاه مورد نظر قابلیت کاربرد چندمنظوره‌ای داشته باشد و مؤلفه‌های اضافی دستگاه تنها در صورت نیاز آزمایشگاه سفارش داده می‌شود. متأسفانه شاهد وجود دستگاه‌های گران‌قیمت با قابلیت‌های متعدد در آزمایشگاه‌های دانشگاه‌ها هستیم که تنها از بخش‌های محدودی از آنها و به صورت خاص استفاده می‌شود که این امر منجر به خسران در منابع می‌گردد. در این آزمایشگاه نسبت به مسائل حفاظتی، پاکیزگی و سلامت محیط زیست به شدت حساس هستیم به طوری که برای ورود به آزمایشگاه و کار با دستگاه‌ها، شخص باید در ابتدا امتحان HSE (Health, Safety & Environment) را بگذراند.

فعالیت‌های علمی آزمایشگاه از زمان تأسیس تاکنون

۱) چاپ مقالات علمی

با اینکه از زمان تأسیس آزمایشگاه مدت زیادی نمی‌گذرد موفق به چاپ ۸ مقالهٔ تجربی در مجلات Q1 (دو مقاله با ضریب تأثیر بالای ۱۰) با آدرس آزمایشگاه شده‌ایم و سه مقالهٔ دیگر نیز در مرحلهٔ داوری است. همچنین دو فصل از دو کتاب تخصصی نیز تحت آدرس آزمایشگاه به چاپ رسیده است.

۲) برگزاری سمینارها و کارگاه‌های تخصصی

یکی از برنامه‌های آزمایشگاه، کوشش برای ترویج علم آزمایشگاهی، آشنایی دانشجویان تحصیلات تکمیلی با موضوعات پیشرفتهٔ آزمایشگاه و همچنین دعوت از محققان سرآمد برای همکاری با آزمایشگاه است. در این راستا ۴ کارگاه تخصصی و ۲۴ سمینار هفتگی برگزار شده است.

۳) سفرهای تحقیقاتی اعضا

آزمایشگاه، برقراری همکاری‌های علمی بین محققان داخل و خارج کشور را از اولویت‌های خود می‌داند و پروژه‌های بسیاری را به صورت مشترک با آزمایشگاه‌هایی در استرالیا، انگلیس، فرانسه، هلند، دانمارک، و سوئد تعریف کرده است. حمایت از ۵ سفر خارجی اعضای علمی آزمایشگاه، برای انجام اندازه‌گیری به روی نمونه‌های ساخته‌شده در آزمایشگاه و همکاری با محققان خارج از کشور از جمله اقدامات آزمایشگاه در این جهت است. سیاست کلی آزمایشگاه مبتنی بر افزایش این همکاری‌های بین‌المللی است.

۴) مهمانان خارجی

آزمایشگاه تاکنون میزبان ۷ محقق خارج از کشور بوده و بی‌شک در آینده میزبان محققان سرشناس بیشتری خواهد بود.

اعضای آزمایشگاه

علاوه بر اعضای شورای علمی آزمایشگاه (رضا عسگری، علی ناجی، مهرداد اتابک، نادر سید ریحانی، و امید اخوان)، اعضای علمی فعال در آزمایشگاه عبارت‌اند از سید حامد ابوطالبی، سید محمدرضا طاهری، و آتیه زمانی (پسادکتری)، نعیمه ناصری، مریم پاکپور، و داود نصر اصفهانی (محققان پاره وقت)، سالار عباسی، محمد قربانی، محمد حسن محمدزاده مقدم، محمد مهدی ترک‌زاده، و سارا مدنی (دانشجویان دکتری) و پونه اصلان‌پرویز و نرگس یعقوبی (دستیاران آزمایشگاه).

بعضی از پروژه‌های تحقیقاتی در حال اجرا در آزمایشگاه

- همان‌گونه که اشاره شد، یکی از موضوعات مهم که در دستورکار تحقیقاتی آزمایشگاه قرار گرفت مطالعهٔ سیستم‌های کریستالی دوبعدی است. ساخت کریستال دوبعدی فلزی از موضوعات بسیار مهم و چالش‌برانگیز در این حوزه است و این پروژه با همکاری علمی محققانی از انگلیس و فرانسه در حال انجام است.
- کریستال‌های مایع مواد دوبعدی با وجود مساحت سطح بسیار زیاد و ویژگی‌های فوق‌العاده، می‌توانند کاربردهای وسیعی داشته باشند. تا به امروز روش‌های مختلفی برای تهیهٔ مواد دوبعدی ارائه شده‌اند از جمله، روش رسوب‌دهی شیمیایی بخار و روش‌های مکانیکی و روش‌های الکتروشیمیایی و همچنین روش لایه‌برداری در حلال‌های مایع؛ اما این روش‌ها یا هزینهٔ بالایی دارند یا مناسب تولید برای مقیاس صنعتی با کیفیت مناسب نیستند. به همین دلیل، عمدهٔ فعالیت‌های گروه ما بر ساخت این مواد با کیفیت بالا و با روش‌های ساخت ارزان‌تر و

ساده‌تر متمرکز شده است. خوشبختانه، نتایج اولیه در این زمینه بسیار امیدوارکننده بوده است. نمونه‌های به دست آمده با روش‌های SEM، TEM، XRD، XPS اندازه‌گیری شدند که نتایج تست‌ها بسیار قابل توجه بوده است و امیدواریم بتوانیم این پروژه را تحت عنوان پتنت به ثبت برسانیم.

- پروژهٔ در حال اجرای دیگر، مطالعهٔ نانوالیاف کربنی است. این نانوالیاف‌ها در واقع نانوساختارهای استوانه‌ای با لایه‌هایی از گرافین هستند، که رسانای مناسبی برای الکتریسیته و حرارت‌اند و همچنین استحکام و انعطاف‌پذیری زیادی دارند. این گونه نانو الیاف از ترکیب محلول اکسید گرافین در یک محلول خاص تولید می‌شود و محصول نهایی یک ریسمان از صفحات اکسید گرافین است. این ریسمان پس از خارج‌شدن از محلول شست‌وشو داده و به روش‌های مختلف، صفحات اکسید گرافین کاهش یافته تولید می‌شود. تست‌های مختلفی از جمله تست‌های حرارتی و ابرخازن بر روی این الیاف در حال انجام است.
- امولسیون‌ها دارای خصوصیات ویژه‌ای هستند. به عنوان مثال، امولسیون‌های پیگرینگ به دلیل خصوصیاتی همچون پایداری بالاتر، استفادهٔ مستقیم در نانوکامپوزیت و سادگی کاربرد نانوذرات در آنها به عنوان جایگزین عوامل سطح فعال (surfactant) مطرح شده‌اند. از ویژگی‌های ضروری نانوذرات مورد استفاده در این سامانه‌ها، قابلیت ترشوندگی آنها توسط هر دو فاز آبی و آلی است. اکسید گرافین، با برخورداری از ساختار شیمیایی منحصربه‌فرد خود قابلیت تشکیل امولسیون‌های پیگرینگ را دارد. از جملهٔ این خصوصیات می‌توان به گروه‌های اکسیدی مختلف نظیر هیدروکسیل، کربوکسیل، و اپوکسید به همراه جزایر کربنی با هیبریداسیون sp^2 که بر روی آرایهٔ دوبعدی از اتم‌های کربنی قرار می‌گیرند اشاره کرد. در این پژوهش قصد بر این است که اثر اندازه صفحهٔ اکسید گرافین بر روی این قابلیت مورد بررسی قرار گیرد. آزمون‌های مختلفی برای ارزیابی نمونه‌های اکسید گرافین وجود دارد. به عنوان نمونه می‌توان به میکروسکوپ نوری، SEM، XRD، و XPS اشاره نمود؛ اندازه‌گیری‌ها در این پروژه در استرالیا و دانمارک در حال انجام است.
- اکسید گرافین به دلیل برخورداری از ساختار دوبعدی به طور ذاتی قابلیت تشکیل فاز نماتیک (nematic) را که یکی از فازهای سامانه‌های بلور مایع است دارا می‌باشد. در این پژوهش سعی بر این است که با در نظر گرفتن ساختار منعطف اکسید گرافین از یک سو و رفتار کلوییدی آن در آب از سوی دیگر، رفتار بلور مایع آن در محیط‌های نمکی مورد بررسی قرار گیرد.
- با توجه به قابلیت اندازه‌گیری نیرو در تکنیک انبرک نوری، مطالعهٔ خواص مکانیکی اکسید گرافین در حال انجام است. در این خصوص، میکروسکوپ تمام‌نگاری دیجیتال در حال ساخت است تا بتوانیم پروفایل سطح لایه‌های اکسید گرافین را مشاهده کرده با توجه به حرکت براونی آنها، خواص مکانیکی آنها را بررسی کنیم. علاوه بر این، در حال بررسی امکان اتصال میکروکره‌های پلی استایرنی به لایه‌های اکسید گرافین هستیم تا بتوانیم آنها را به صورت مستقیم با تلهٔ نوری ارزیابی کنیم و خواص مکانیکی را به صورت مستقیم مورد بررسی قرار دهیم. همچنین به طور همزمان، خواص مکانیکی اکسید گرافین با روش‌های نظری در پژوهشکدهٔ نانو مطالعه شده است و امیدواریم نتایج تجربی و نظری در توافق خوبی باشند. هدف ما دراین بخش گسترش همکاری‌های علمی این آزمایشگاه و پژوهشکدهٔ علوم نانو است.
- یکی از زمینه‌های پژوهشی در آزمایشگاه مواد نرم، مطالعهٔ مواد دانه‌ای و دینامیک حاکم بر آنهاست. مواد دانه‌ای دسته‌ای از مواد نرم هستند که از ذرات مجزایی با ابعاد بیشتر از یک میکرومتر تشکیل شده‌اند و در حالتی نسبتاً چگال که در آن ذرات در تماس با یکدیگرند، قرار دارند. درک خواص فیزیکی و رفتار این مواد از اهمیت ویژه‌ای در حوزهٔ صنعت و علومی همچون زمین‌شناسی و داروسازی برخوردار است. علی‌رغم اهمیت زیاد مواد دانه‌ای، به سبب رفتارهای دسته‌جمعی که اجزای این مواد در شرایط گوناگون از خود نشان می‌دهند، تحلیل کاملی از فیزیک حاکم بر این دسته از مواد هنوز میسر نشده است. در این میان، بررسی حرکت و نیروهای مؤثر وارد بر اجسام خارجی غوطه‌ور در محیط‌های دانه‌ای اهمیت فراوانی (در زمینه‌های مختلف از بیولوژی تا مکانیک شاره‌ها و طراحی ربات‌های پویشگر) یافته و اخیراً نیز مطالعهٔ آن از جنبهٔ بنیادی به کمک شبیه‌سازی و آزمایش مورد توجه قرارگرفته است. افزودن مقدار اندکی شاره به محیط‌های دانه‌ای به واسطهٔ ایجاد چسبندگی بین‌ذره‌ای با تغییرات اساسی در خواص مکانیکی آنها همراه است. مواد دانه‌ایِ تَر بخش عمدهٔ موضوع آزمایش‌های در حال طرح و انجام در آزمایشگاه مواد نرم را تشکیل می‌دهد که طی یک سال گذشته به شکل فعال و با جذب یک دانشجوی دکتری از پژوهشکدهٔ علوم نانو و با همکاری دیگر محققان پسادکتری و پاره‌وقت آغاز به کار کرده است.

در جمع‌بندی می‌توان گفت که آزمایشگاه تحقیقاتی مادهٔ چگال به تازگی کار خود را شروع کرده و با توجه به برنامه‌های بلندمدتی که برای آن طراحی شده امیدواریم یکی از مهمترین آزمایشگاه‌ها در سطح ملی و در سطح منطقه‌ای شود. برای رسیدن به این هدف علاوه بر تلاش خود، امیدواریم از حمایت‌ها و پشتیبانی مالی نهادهای بیرون از پژوهشگاه نیز برخوردار باشیم تا پروژه‌های تعریف‌شده را به سرعت و با نتایج عالی دنبال کنیم.

در خاتمه، لازم می‌دانم از آقایان سید حامد ابوطالبی، سید محمدرضا طاهری، و علی ناجی، که پاره‌ای از اطلاعات مذکور در این نوشته را در اختیار نویسنده قرار دادند، سپاسگزاری کنم. ■