اخبار

IPM

سال سیزدهم، شماره سوم، پاییز ۱۳۸۵، شماره پیاپی ۴۲ Institute for Studies in Theoretical Physics and Mathematics

به پژوهشگاه و هشت پژوهشکدهٔ آن

پژوهشکده

$e^{i\theta} = \cos\theta + i\sin\theta$

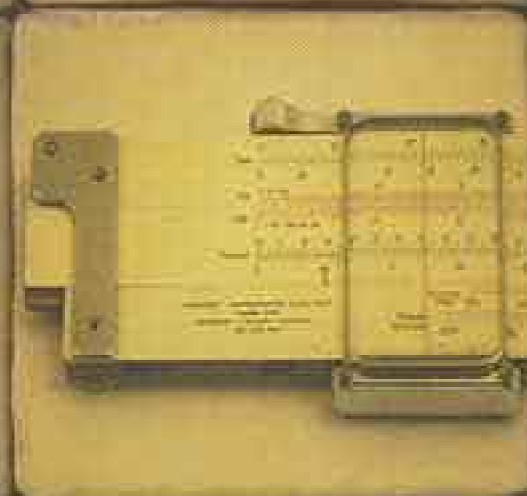
$V - E + F = 2$

ریاضیات

پژوهشکده

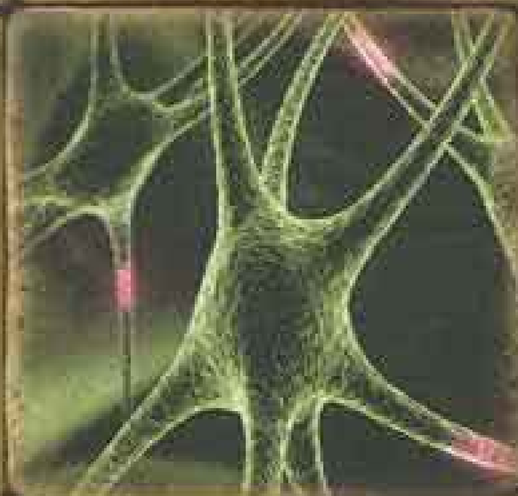
فیزیک

پژوهشکده



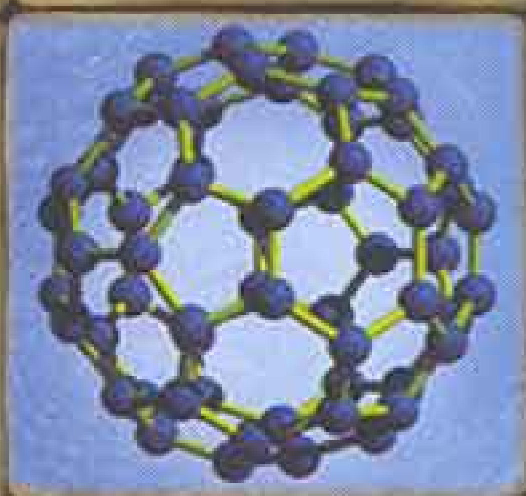
علوم کامپیوتر

پژوهشکده



علوم شناختی

پژوهشکده



علوم نانو

پژوهشکده

نجوم و اخترفیزیک

پژوهشکده

فلسفهٔ تحلیلی

پژوهشکده

ذرات و شتابگر

یادداشت

۱. مدتهاست به‌علت مشغلهٔ فراوان برای این نشریهٔ عزیزی که مدیر مسؤول آن هستم چیزی ننوشته‌ام ولی از این پس که بارِ گرفتاری‌هایم سبک‌تر است، خواهم نوشت و این نوشته فتح بابی در این کار است.

۲. در دوران قبل از انقلاب در دانشگاه‌ها تقریباً خبری از تحقیقات نبود؛ از دوره‌های دکتری هم خبری نبود؛ بعد از دورهٔ لیسانس، یک دورهٔ نه‌چندان مطلوبِ فوق لیسانس بود و آن‌هم به هیچ وجه جدی نبود. اعضای هیأت علمی برای دانشیار شدن حداقل یک مقاله لازم داشتند و آن را هم در فرصت‌های مطالعاتی تهیه می‌کردند و آنهایی که این کار را می‌کردند آدم‌های ممتاز آن روزگار به‌شمار می‌آمدند. شایع بود که فلانی یک مقاله دارد و برای ارتقاء مسأله‌ای ندارد. اغلب افراد در همان استادیاری می‌ماندند تا روزگار بازنشستگی‌شان فرا رسد. هرکه دم از تحقیقات و گشایش دوره‌های دکتری می‌زد، همیشه عده‌ای بودند که می‌گفتند «آقا این خطرناک است»؛ بهتر است افراد برای دکتری گرفتن به خارج بروند. یک «دانشگاه رضاشاه کبیر» در بابلسر با طمطراق باز شد، البته آن هم زیر سایهٔ دانشگاه هاروارد، و تا آمد خودی نشان دهد، انقلاب شد و کشتی‌اش به گِل نشست و افرادش به‌عنوان اساتید نیمه‌طاغوتی تقریباً تحت پیگرد قرار گرفتند.

۳. بعد از انقلاب، مدت‌ها دانشگاه‌ها شلوغ بودند و بعد هم انقلاب فرهنگی رخ داد و همهٔ ما استادان برای آنکه حقوقمان حلال باشد مشغول کارِ گِل ترجمهٔ کتاب شدیم که اینکاره هم نبودیم. این هم داستان خودش را دارد و تفصیل بیشتری می‌خواهد که فعلاً بماند. کسی در آن دورهٔ پنج و شش ساله نه تحقیق کرد و نه از مقاله نویسی حرفی به‌میان آورد. ما همه در انتظار باز شدن دانشگاه‌ها خمیازه می‌کشیدیم تا سرنوشتمان معلوم شود. در این دورهٔ فطرت عده‌ای پاکسازی شدند، عدهٔ کثیر دیگری هم مهاجرت کردند و درنتیجه دانشگاه‌ها از کادرهای خود، به این دلایل و دلایل دیگر خالی شد. وقتی دانشگاه‌ها بازگشایی شدند، زعما دیدند علی مانده است و حوضش. چاره‌ای که اندیشیده بودند یعنی تأسیس کارخانهٔ استادسازی دانشگاه تربیت مدرس نیز دردی را در عمل درمان نکرد. پس کشتیبان را سیاستی دیگر می‌بایست، و سیاست دیگر همانا تأسیس دوره‌های دکتری بود که به نظر من مهمترین گام آموزش عالی در دوران بعد از انقلاب بوده است: گامی بس میمون و مبارک.

۴. دانشجویان دکتری می‌بایست مقاله می‌نوشتند و در مجلات معتبر چاپ می‌کردند. این باعث شد که استادان نیز همراه دانشجویان خود مقاله بنویسند و مردم شروع کردند به یاد گرفتن اینکه چگونه مقاله بنویسند و چگونه با علم جهانی همراهی کنند.

۵. تحقیقات راه افتاد. اشتیاق‌ها روز افزون شد. اما تحقیق مثل تدریس نیست، تدبیرها و امکانات خاصی می‌خواهد. افتتاح مرکز تحقیقات فیزیک نظری و ریاضیات (IPM) که اینک پژوهشگاه دانش‌های بنیادی نامیده می‌شود گام عظیم و پربرکت بعدی در این راستا بود. در پژوهشگاه اشخاص عملاً تحقیق می‌کنند و مقاله می‌نویسند و از این نظر کار پژوهشگاه در ایران یگانه است و در بالاترین سطح. اما از طرف دیگر پژوهشگاه در ترویج فرهنگ پژوهش گام‌های مؤثری برداشته است. راه‌های جدیدی را آزموده است؛ تجربیات مهمی اندوخته است. در آغاز، مسأله این بود که در کشوری در حال توسعه مانند ایران راه‌های میانبر برای اشاعهٔ تحقیقات کدام است. آیا اصلاً راه میانبری وجود دارد؟

۶. در دنیا مؤسسات تحقیقاتی مهمی هستند که هر کدام ساختار و شیوه‌های خاص خود را دارد. مثلاً انستیتوی مطالعات عالی پرینستن، چند عضو ثابت دارد و تمامی فعالیت‌ها در حول و حوش علائق آنها متمرکز است؛ MSRI در کالیفرنیا، اصلاً عضو ثابت ندارد؛ در IMPAی برزیل دوره‌های دکتری وجود دارد؛ اوبرولفاخ (Obervolfach) در آلمان فقط محل کنفرانس‌ها و کارگاه‌های هفتگی است؛ در روسیه در کنار دانشگاه‌ها مؤسسات پژوهشی مهمی مانند استکلوف وجود دارد. استادها در دانشگاه تدریس می‌کنند و در آن مؤسسات به تحقیق می‌پردازند.

۷. اولیای امور در کشور ما باید از این شیوه‌های مختلف اطلاع یابند و بعد تصمیم بگیرند که کدام یک از آنها برای ایران مناسب‌تر است، شاید هم انتخاب ملغمه‌ای از آنها بهترین راه‌حل باشد. نشریهٔ اخبار به انگیزهٔ طرح نظام‌ها و شیوه‌های مختلف پژوهشی تاکنون به معرفی تعدادی از مراکز تحقیقاتی مهم دنیا پرداخته و در این شماره هم به سراغ نظام تحقیقاتی فرانسه و CNRS رفته است. امیدواریم مقامات ذی‌ربط و رؤسای دانشگاه‌ها این مطالب را بخوانند و دربارهٔ آنها اندیشه کنند.

غلامرضا خسروشاهی

باسمه تعالی

در این شماره:

تحقیقات به سبک فرانسوی: نگاهی به CNRS

«مرکز ملی تحقیقات علمی»

(Centre National de la Recherche Scientifique)

در فرانسه، که به‌اختصار CNRS نامیده می‌شود، بزرگترین و مهمترین نهاد پژوهشی در آن کشور است. این سازمان که تشکیلات آن در سراسر فرانسه گسترده است، در حال حاضر بیش از ۲۶۰۰۰ کارمند دائم دارد که بالغ بر ۱۱۶۶۰ نفر از آنها پژوهشگر و بقیه مهندس و کادر فنی و اداری هستند. همچنین ۴۰۰۰ کارمند موقت دارد. بخش عمدهٔ بودجهٔ سالانهٔ CNRS را دولت تأمین می‌کند (مبلغی که دولت فرانسه هر سال به این نهاد تخصیص می‌دهد یک چهارم کل بودجهٔ سالانهٔ دولتی برای پژوهش در فرانسه است) و بخشی از آن هم از محل قراردادهای این مرکز با صنایع و قراردادهای تحقیقاتی اتحادیهٔ اروپا و نیز درآمد خدمات و حق امتیاز اختراعات تأمین می‌شود. بودجهٔ CNRS در سال ۲۰۰۶ مبلغ ۲/۷۳۸ میلیارد یورو بوده که ۴۹۴ میلیون یورو از محل درآمدهای این مرکز و بقیه به‌وسیلهٔ دولت تأمین شده است (تمام آمار و ارقام مندرج در این مقاله مربوط به سال ۲۰۰۶ است). این نهاد زیر نظر وزارت تحقیقات فرانسه اداره می‌شود و برای اجرای مأموریت‌های زیر تلاش می‌کند:

- ارزیابی و اجرای هر نوع پژوهشی که به پیشبرد دانش بینجامد و نیز فواید اجتماعی، فرهنگی، و اقتصادی برای جامعه داشته باشد
- کمک به کاربرد و ارتقای نتایج پژوهشی
- ترویج اطلاعات علمی و استفاده از زبان فرانسه
- کمک به آموزش برای پژوهش، و از طریق پژوهش
- مشارکت در تحلیل اوضاع علمی ملی و بین‌المللی و امکان تحول آن، به‌منظور طرح‌ریزی یک سیاست ملی.

ساختار

نمودار تشکیلات CNRS را در صفحهٔ ۴ می‌بینید. در اینجا توضیحاتی دربارهٔ بعضی قسمت‌های آن می‌آوریم.

این مرکز در حال حاضر ۶ شاخه یا دپارتمان علمی دارد که عبارت‌اند از:

- ریاضیات، فیزیک، علوم زمین و اخترشناسی،
- شیمی،
- علوم حیاتی،
- علوم انسانی و اجتماعی،
- محیط زیست و توسعهٔ پایدار،
- مهندسی.

دو شاخهٔ آخر با شاخه‌های دیگر «متقاطع» هستند به این معنی که گروه‌های پژوهشی وابسته به آنها در عین حال به یکی از چهار شاخهٔ «اصلی» وابسته‌اند. «کمیتهٔ ملی تحقیقات علمی» (CN) که مسئول استخدام و ارزیابی پژوهشگران است بخش‌بندی دیگری دارد که شامل ۴۷ بخش است. گروه‌های پژوهشی به یک یا چند شاخه تعلق دارند، ولی هر پژوهشگری عضو یک بخش است.

همچنین CNRS از لحاظ اداری به ۱۸ قسمت ناحیه‌ای (از جمله ۴ قسمت برای ناحیهٔ پاریس) تقسیم می‌شود.

این سازمان ۱۲۵۶ واحد یا گروه پژوهشی دارد که در سراسر فرانسه پراکنده‌اند. این واحدها که به فرانسه Laboratoire نامیده می‌شوند بر دو دسته‌اند: واحدهای ویژه یا خالص که کلاً به CNRS تعلق دارند و واحدهای مشترک یا آمیخته که در دانشگاه‌ها و نهادهای پژوهشی دیگر با کمک و هدایت CNRS به فعالیت مشغول‌اند. واحدهای مشترک از حمایت مالی این سازمان بهره‌مند می‌شوند و اعضای آنها مخلوطی از اعضای CNRS و دانشگاه یا نهاد پژوهشی مربوط هستند. حدود ۸۵٪ از واحدهای پژوهشی CNRS همین واحدهای مشترک هستند.

استخدام

پژوهشگرانی که CNRS مستقیماً آنها را استخدام می‌کند، به‌ترتیب ارشدیت بر دودسته‌اند:

دستیار پژوهش (پایهٔ دوم، پایهٔ اول)

استاد پژوهش (پایهٔ دوم، پایهٔ اول)

از لحاظ نظری، استادان پژوهش واحدهای پژوهشی را هدایت می‌کنند ولی این موضوع عمومیت ندارد.

همهٔ کارکنان دائم CNRS (چه پژوهشگران و چه کارکنان فنی و اداری) از طریق رقابت‌های فشرده‌ای در سطح ملی انتخاب می‌شوند. نامزدهای برگزیده، به عنوان کارمند دولت به استخدام در می‌آیند و جزئی از نیروی کار دولتی فرانسه‌اند که یک پنجم کل نیروی کار این کشور را تشکیل می‌دهد. پژوهشگرانِ عضو CNRS می‌توانند در واحدهای مشترک یا واحدهای ویژه کار کنند. آنها وظیفهٔ تدریس ندارند و می‌توانند تمام وقت خود را به تحقیق اختصاص دهند. اما کادرهای دانشگاهی که در گروه‌های مشترک کار می‌کنند قاعدتاً وظایف آموزشی هم دارند.

روابط بین‌المللی

CNRS که بزرگترین مرکز تحقیقات بنیادی در اروپاست دارای شعباتی در بروکسل، پکن، توکیو، هانوی، واشنگتن، بن، مسکو، تونس، ژوهانسبورگ، سانتیاگو (در شیلی)، و ریودو ژانیرو (در برزیل) است. پذیرش ۵۰۰۰ میهمان خارجی (شامل دانشجویان دکتری، محققان پست دکتری و پژوهشگران میهمان)، اجرای ۳۳۲ برنامهٔ بین‌المللی برای همکاری‌های علمی و ۸۰ قرارداد مبادله با ۶۰ کشور جهان، تشکیل ۵۶ گروه پژوهشی بین‌المللی و ۵۴ واحد پژوهشی وابسته در خارج، ازجمله ارتباطات و همکاری‌های گستردهٔ CNRS با جهانِ خارج از فرانسه است.

۶۸ سال فعالیت

CNRS در اکتبر ۱۹۳۹ مقارن با اولین روزهای جنگ جهانی دوم به فرمان رئیس جمهوری وقت فرانسه تشکیل شد. هدف از تأسیس CNRS این بود که همهٔ نهادهای دولتی غیر تخصصی که با امر پژوهش سروکار داشتند در قالب نهاد واحدی ادغام شوند تا پیشبرد تحقیقات در سطح ملی با هماهنگی بیشتری انجام شود. پایه‌گذاری این مرکز مرهون فکر و تلاش جمعی از دانشمندان برجسته، به‌خصوص ژان پرن (Jean Perrin) برندهٔ جایزهٔ نوبل فیزیک در ۱۹۲۶، است. تا زمان تسلیم فرانسه در سال ۱۹۴۰، تحقیقات در CNRS معطوف به امور نظامی بود. پس از آن، تحقیقات در زمینه‌های کاربردی مانند انرژی هسته‌ای و امواج رادیویی مورد توجه قرار گرفت. از سال ۱۹۴۵، CNRS به پژوهش‌های بنیادی گرایش یافت و پژوهش‌های کاربردی عمدتاً به نهادهای دیگری که به‌منظورهای خاص ایجاد شدند واگذار گردید، مثلاً به CNET (مرکز ملی مخابرات) و CEA (کمیسیون انرژی اتمی).

در سال ۱۹۶۶، CNRS با ایجاد واحدهای پژوهشی مشترک دچار تحولات ساختاری عمده‌ای شد. دایر کردن این واحدها، که با همکاری این نهاد و دانشگاه‌ها و پژوهشگاه‌های دیگر اداره می‌شوند، به CNRS امکان داد تمام شاخه‌های تحقیقات در فرانسه را زیر پوشش خود بگیرد. همچنین در سال‌های بعد دو انستیتوی تخصصی ایجاد شد: انستیتوی ملی اخترشناسی و ژئوفیزیک در ۱۹۶۷، که بعدها به انستیتوی ملی علوم زمین و اخترشناسی (INSU) تبدیل شد، و انستیتوی ملی فیزیک هسته‌ای و ذرات (IN2P3) در ۱۹۷۱. کار این دو مؤسسه، هماهنگ‌سازی فعالیت‌های CNRS و تحقیقات دانشگاهی در زمینه‌های مربوط از طریق طرح ریزی برنامه‌های علمی و ایجاد و ادارهٔ تسهیلات و امکانات دراز مدت است. از جملهٔ ثمرات کار آنها، ایجاد تلسکوپ فرانسوی-ایتالیایی تمیس (Themis) در جزایر قناری است.

در دههٔ ۱۹۷۰، CNRS با ایجاد شاخهٔ علوم مهندسی مجدداً به پژوهش‌های کاربردی گرایش یافت. هدف از تأسیس این شاخه، اهتمام به پژوهش‌های بنیادی بر اساس نیازهای صنعتی بود. در خلال دههٔ ۸۰ کشفیات علمی متعددی انجام شد که غالباً حاصل ترکیب نتایجی از رشته‌های متعدد بود و در نتیجه، سیاستِ پرداختن به پژوهش‌های میان رشته‌ای در پیش گرفته شد. از طریق برنامه‌های میان رشته‌ای، پژوهشگرانی از رشته‌های مختلف گردهم می‌آیند تا روی موضوع واحدی کار کنند. مسائل بهداشت و سلامتی، انرژی، و محیط زیست از جملهٔ این‌گونه موضوع‌ها هستند. در عین حال، CNRS در این زمینه‌ها با سایر سازمان‌های پژوهشی و اخیراً با شرکت‌های صنعتی، از طریق ایجاد واحدهای پژوهشی مشترک، همکاری می‌کند.

این سازمان اولین نهاد پژوهشی بود که گام‌هایی در جهت کمک به بهینه‌سازی سرمایه‌گذاری دولتی در امر پژوهش برداشت و از سال ۱۹۹۰ اجرای یک فرآیند «قراردادی سازی» کارهای علمی را آغاز کرد. طبق این روش، CNRS، وزارت تحقیقات فرانسه، و هر دانشگاه یا پژوهشگاه علاقه‌مند می‌توانند یک قرارداد مشارکت چهارساله امضاء کنند که در آن ماهیت برنامهٔ علمی مورد نظر، بودجهٔ تخصیص یافته، و چارچوب تشکیلاتی لازم مشخص می‌شود.

چهره‌های درخشان

ژان پرن

الکساندر گروتندیک

در میان پژوهشگران قبلی و فعلی CNRS نام عده‌ای از شاخص‌ترین دانشمندان فرانسوی که دارای اعتبار و شهرت بین‌المللی هستند دیده می‌شود. عده‌ای از این افراد برندهٔ جوایز معتبر جهانی از قبیل نشان فیلدز و جایزهٔ آبل در ریاضیات و جایزهٔ نوبل در فیزیک، شیمی، زیست‌شناسی و فیزیک، و اقتصاد شده‌اند. صاحبان نشان فیلدز در میان آنها عبارت‌اند از ژان پیرسر، الکساندر گروتندیک، آلن کُن، لوران شوارتس، لوران لافورگ، پیرلویی لیونس و ژان کریستوف یوکوز (دو نفر اخیر در واحدهای پژوهشی مشترک CNRS کار می‌کنند)، و بالاخره وندلین ورنر که در سال ۲۰۰۶ برندهٔ فیلدز شد و اغلب این افراد (به‌خصوص چهار نفر اول) از تأثیر گذارترین ریاضیدانانِ جهان در چند دههٔ اخیر بوده‌اند و کمتر کسی می‌توان یافت که علاقه‌ای به ریاضیات داشته باشد و با نام و آثار آنها آشنا نباشد. ضمناً ژان پیرسر و آلن کُن علاوه بر نشان فیلدز، به‌ترتیب، برندهٔ جایزهٔ آبل و جایزهٔ کرافورد نیز شده‌اند. برندگان جایزهٔ نوبل نیز در میان اعضای CNRS کم نیستند. ژان پرن

بنیانگذار این سازمان و فردریک ژولیو کوری اولین مدیر کل آن پس از جنگ دوم، و همچنین آلفرد کاستلر، لویی نل، پیر ژیل دُ ژن، ژرژ شارپاک، و کلود کوهن-تانوجی در رشتهٔ فیزیک، ژان‌ماری لن در شیمی، ژاک مونو و فرانسیس ژاکوب، و ژان دوسه در زیست‌شناسی و پزشکی، و موریس آله در اقتصاد، جایزهٔ نوبل گرفته‌اند.

خود CNRS نیز از سال ۱۹۵۴ هر سال مدال‌های طلا، نقره، و برنز را به دانشمندان مشهور فرانسوی و پژوهشگران جوانِ بسیار مستعد اعطا می‌کند که این مدال‌ها نیز در شمار جوایز معتبر فرانسه درآمده‌اند.

آلن کُن

لوران شوارتس

آلن کُن، ریاضیدان برجسته و بنیانگذار هندسهٔ ناجابه‌جایی، از جملهٔ برندگان مدال طلای CNRS است.

لوران لافورگ

ژان کریستوف یوکوز

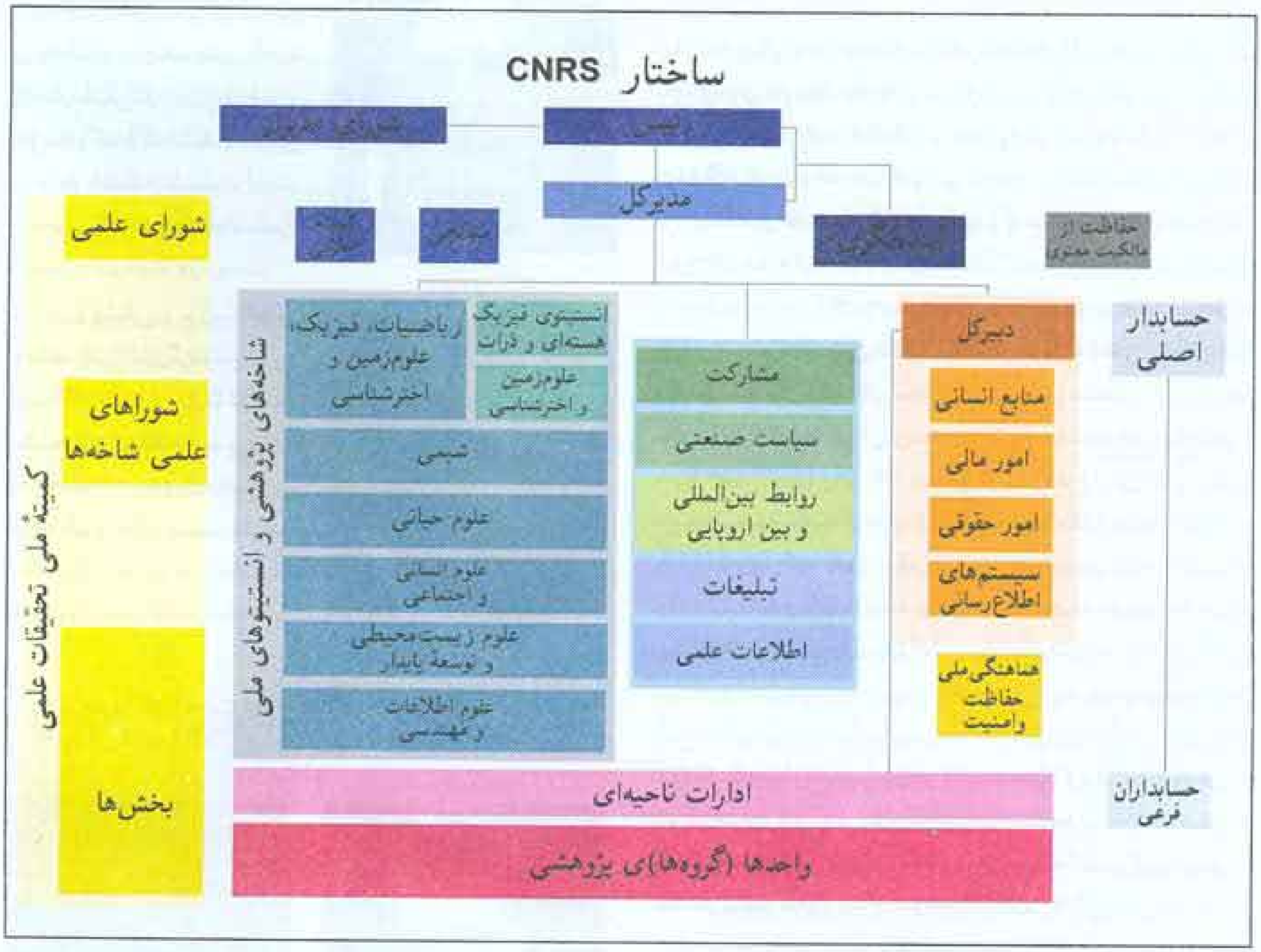
آلفرد کاستلر

پیر ژیل دُ ژن

نگاه کلی و مقایسه‌ای

نهادی با ویژگی‌های CNRS در نظام تحقیقاتی آمریکای شمالی دیده نمی‌شود ولی در نظام تحقیقاتی شوروی سابق می‌توان مؤسساتی یافت که از بسیاری جهات شبیه CNRS بوده‌اند. پوشش گسترده، دارا بودن هزاران پژوهشگر تمام وقت که وظیفهٔ آموزشی و اداری ندارند، استخدام مادام‌العمر این پژوهشگران به صورت کارمند دولت و با حقوق‌های تقریباً ثابت که از حقوق‌های مشابه در آمریکا به مراتب کمتر است، نبود بورس‌های تحقیقاتی از نوع بورس‌های NFS (و به‌طور خلاصه، مبتنی نبودن نظام تحقیقاتی بر پول) و در مقابل، آزادی پژوهشگر در انتخاب موضوع تحقیق و فقدان فشار و باز خواست برای تولید فلان تعداد مقاله در زمانی مشخص، از ویژگی‌های نظام CNRS است. آلن کُن ریاضیدان مشهور فرانسوی در مصاحبه‌ای با نشریهٔ اخبار (شمارهٔ پیاپی ۳۷، تابستان ۸۴) در دفاع از این نظام می‌گوید: «چنین سیستمی است که به امثال لوران لافورگ امکان می‌دهد سال‌ها به یک مسأله فکر کنند بدون اینکه [مانند آمریکا] مجبور باشند n مقاله در سال تولید کنند و برای دریافت بورس NSF تقاضانامه بنویسند. در این سیستم، دانشمندان جوان می‌توانند در پروژه‌های دراز مدتی سرمایه‌گذاری کنند که در سیستم‌های مبتنی بر واحد زمانی کوتاه میسر نیست.» و در پاسخ به این ایراد که ممکن است عده‌ای از این پژوهشگران سال‌ها هیچ کاری نکنند، می‌گوید: «نمی‌توان از قبل مشخص کرد که کدام یک از آنها لافورگ خواهد شد. به‌هرحال عده‌ای وجود خواهند داشت که خیلی کم تولید کنند، ولی این بهایی است که باید پرداخت تا فشار برای نوشتن n مقاله در سال از میان برداشته شود چون این فشار در مورد موضوعات واقعاً مشکل، بی‌معنی است. تسلط بر چنین موضوعی ۵-۶ سال طول می‌کشد و در آن مدت نمی‌توانید چیزی تولید کنید.» وی با این حال اذعان دارد که بهتر است سیستم اصلاح شود و صافی دیگری گذاشته شود تا فقط افرادی که از آن می‌گذرند بتوانند پست دائمی در CNRS بگیرند. پیشنهاد او این است: اول عده‌ای از افراد جوان برای ۶ سال در CNRS پذیرفته شوند؛ پس از این مدت، همهٔ آنها اجباراً از آنجا بروند و در دانشگاه‌ها تدریس کنند، و پس از مدتی تدریس بتوانند مجدداً درخواست ورود به CNRS را مطرح کنند. آنگاه به پذیرفته شدگان در این مرحلهٔ دوم، که در رقابت بسیار فشرده‌ای موفق شده‌اند، پست دائمی داده شود. چنین تدبیری سیستم را بهتر خواهد کرد چون هم افراد جوان آزادی انتخاب بیشتری خواهند داشت و هم صافی دیگری گذاشته می‌شود تا افرادی که در CNRS می‌مانند و هیچ کاری نمی‌کنند، حذف شوند.»

به هرحال CNRS در مجموع بسیار موفق بوده است ولی اخیراً انتقاداتی از نحوهٔ استخدام و مدیریت فعالیت پژوهشگران و شیوه‌های ارزیابی رایج در این نهاد به عمل آمده و پیشنهادهایی برای اصلاحات گسترده در آن مطرح شده است.



منابع:

۱. اخبار، شمارهٔ پیاپی ۳۷، تابستان ۱۳۸۴.

2. http://www.cnrs.fr

3. http://en.wikipedia.org/wiki/ Centre_national_de_la_recherche_scientifique

جایزهٔ «طرح اول» برای محقق پژوهشکدهٔ فیزیک

یاسمن فرزان

«سازمان پژوهش های علمی و صنعتی ایران» وابسته به وزارت «علوم، تحقیقات و فناوری»، همه ساله جشنواره‌ای با عنوان جشنوارهٔ جوانِ خوارزمی برگزار می‌کند. در این جشنواره به محققان جوان برگزیده در سه شاخهٔ علوم پایه، اختراعات و ابداعات، و هنر، که کمتر از سی سال سن دارند، جوایزی اهدا می شود.

جایزهٔ «طرح اول» در رشتهٔ علوم پایه در سال جاری به خانم دکتر یاسمن فرزان از پژوهشکدهٔ فیزیک تعلق گرفت. عنوان طرح عبارت بود از «مطالعهٔ روابط بین پارامترهای جرم نوترینو و دوقطبی‌های الکتریکی ذرات بنیادی» که شرح مختصری از آن را در زیر می خوانید.

مشاهدات و آزمایش‌های نوترینو در سال‌های اخیر ثابت کرده است که این ذرات جرم دار هستند. این در حالی است که در چارچوب مدل استاندارد، نوترینوی راست‌دست وجود ندارد و در نتیجه در قالب این مدل نمی‌توان برای نوترینو جملهٔ جرمی نوشت. از این رو مشاهدات اخیر نوترینو، تنها با توسل به فیزیکِ فراتر از مدل استاندارد قابل توجیه هستند.

از طرف دیگر، آزمایش ماینتس (Mainz)به ما می‌آموزد که جرم نوترینو نمی‌تواند بیشتر از ۲٫۲eV باشد. به عبارت دیگر نوترینوها دست کم حدود یک میلیون مرتبه از الکترون (که پس از نوترینو سبک ترین ذرهٔ بنیادی است) سبک‌تر هستند.

یکی از چالش‌های فراروی فیزیکدانان ذرات بنیادی، فهم و فرمول‌بندی جرم کوچک اما غیر صفر نوترینوهاست. مدل‌های زیادی به این منظور ساخته شده‌اند که از همه معروف‌تر، مدلی موسوم به مکانیزم الاکلنگی (Seesaw)است. این مدل بر اساس اضافه کردن نوترینوهای راست‌دست بسیار سنگین $M \sim ۱۰^{۱۲}\mathrm{GeV}$ (صد تریلیون بار سنگین تر از پروتون) به مدل استاندارد بنا نهاده شده است، حال آنکه شتابدهنده‌های در حال احداث حداکثر می توانند ذرات با جرم‌های کوچکتر از$۱۰^{۴}\mathrm{GeV}$ را تولید کنند. در نتیجه با روش‌های موجود نمی‌توان تمام پارامترهای این مدل را اندازه گرفت. مدل الاکلنگی دربردارندهٔ چشمه‌های جدید برای نقض تقارن CPاست. چنانکه معروف است، نقض تقارن CP می‌تواند منجر به القاء دوقطبی‌های الکتریکی برای ذرات بنیادی شود.

در این طرح، امکان استفاده از داده‌های مربوط به دوقطبی‌های الکتریکی برای کسب اطلاعات بیشتر در مورد پارامترهای نوترینو مورد بررسی قرارگرفته است. اگر بخواهیم با اندازه‌گیری دوقطبی الکتریکی ذاتی ذرات دربارهٔ پارامترهای نوترینو اطلاع کسب کنیم باید تمام جملاتی را که می‌توانند در دوقطبی‌ها سهیم باشند شناسایی کنیم. لاگرانژی مدل ابرتقارنی الاکلنگی حاوی جمله‌ای است به نام جملهٔ B نوترینو. در این طرح، نشان داده شده که این جمله نیز، به عنوان یکی دیگر از چشمه‌های ناقض CP، می‌تواند به دوقطبی الکتریکی الکترون سهم بدهد. سپس امکان تفکیک چشمه‌های ناقض تقارن CP با تحلیل همزمان داده‌ها بر روی دوقطبی‌های الکتریکی جیوه، دوترون (D)، نوترون، و الکترون بررسی شده است.

چشم‌اندازی از مثلثی‌سازیِ همزمان

بامداد ر. یاحقی *

«بخوان» تا بدانی، بدان تا بکنی،
بکن تا بروی، برو تا برسی،
برس تا بیابی، بیاب تا گم شوی،
گم شو تا یافته شوی، یافته گرد تا بشناسی،
بشناس تا دوست داری، دوست‌دار تا دوست شوی،
آنگه کشف افتد!

نجم‌الدین رازی

چکیده.

در این مقالهٔ مروری بر آنیم که بیشترِ گزاره‌های کلاسیک و استانداردِ نظریهٔ مثلثی‌پذیریِ همزمانِ خانواده‌های تبدیل‌های خطی یا ماتریس‌ها را در ابعادِ متناهی روی حلقه‌های تقسیم و میدان‌ها ارائه دهیم. از جهتِ رعایتِ اختصار، برای برهانِ گزاره‌ها، خواننده را به بخشِ منابع رجوع می‌دهیم.

۱. مثلثی‌سازیِ همزمان بر حلقه‌های یکدار، نظریه‌ای که وجود ندارد!

Man muss immer generalisieren.

[همیشه باید تعمیم داد.]

کارل یاکوبی

ماتریس‌های بالا مثلثی حتی روی حلقه‌های کلی، رده‌ای مفید، خوش‌رفتار و کارآمد از ماتریس‌ها هستند. نخست، یادآور می‌شویم که برای یک حلقهٔ R، یک ماتریسِ $T=(t_{ij})_{n\times n}\in M_n(R)$ را بالا مثلثی (upper triangular) (به ترتیب: اکیداً بالا مثلثی) (strictly upper triangular) می‌خوانیم هرگاه که $t_{ij}=0$ به ازای هر $1\le i,j\le n$ که $i>j$ (به ترتیب: $i\ge j$). گواهی بر ادعای بالا مشاهداتِ زیر می‌باشد.

الف) یک ماتریسِ بالا مثلثی روی یک حلقهٔ دلخواه پوچ‌توان است اگر و تنها اگر درایه‌های واقع بر قطرِ اصلیِ ماتریسِ بالا مثلثی همگی پوچ‌توان باشند.

ب) یک ماتریسِ بالا مثلثی روی یک حلقهٔ یکدار وارون‌پذیر است اگر و تنها اگر درایه‌های واقع بر قطرِ اصلیِ ماتریسِ بالا مثلثی همگی وارون‌پذیر باشند.

پ) گیریم R حلقه‌ای یکدار و $T\in M_n(R)$ یک ماتریسِ بالا مثلثی باشد. در این‌صورت، معادلهٔ $TX=Y$ برای هر ماتریسِ (ستونیِ) $n\times 1$ دارای یک جوابِ یگانه برحسبِ X است اگر و تنها اگر ماتریسِ T وارون‌پذیر باشد اگر و تنها اگر درایه‌های واقع بر قطرِ اصلیِ ماتریسِ T همگی وارون‌پذیر باشند. در نتیجه اگر ماتریسِ ضرایبِ معادلهٔ $AX=Y$، یعنی A، بالا مثلثی بوده، یا به طورِ کلی مشابه با یک ماتریسِ بالا مثلثی باشد، آنگاه به راحتی می‌توان جوابِ یگانهٔ معادله، یعنی X، را برحسبِ A و Y یافت.

به دلایلِ بالا، خانوادهٔ ماتریس‌های بالا مثلثی رده‌ای خوش‌رفتار و با ارزش از ماتریس‌ها روی حلقه‌های یکدار است. پس در سایهٔ آنچه گذشت، تعریفِ زیر طبیعی می‌باشد. گردایهٔ $\mathcal{F}$ از ماتریس‌های $n\times n$ روی یک حلقهٔ یکدار چون R را مثلثی‌پذیرِ همزمان (simultaneous triangularizable)، یا به طورِ ساده مثلثی‌پذیر (triangularizable)، می‌نامیم هرگاه که $\mathcal{F}$ روی R با یک گردایه از ماتریس‌های بالا مثلثی مشابه باشد. یعنی ماتریسی وارون پذیر چون $P\in GL_n(R)$ موجود بوده به طوری که $P^{-1}\mathcal{F}P$ گردایه‌ای از ماتریس‌های بالا مثلثی گردد. اگر $P^{-1}\mathcal{F}P$ گردایه‌ای از ماتریس‌های اکیداً بالا مثلثی باشد، $\mathcal{F}$ را اکیداً مثلثی‌پذیر (strictly triangularizable) می‌خوانیم. روشن است که هرگاه $\mathcal{F}\subseteq M_n(R)$ مثلثی‌پذیرِ اکید باشد، آنگاه

$$\mathcal{F}=\{A_1\cdots A_n : A_i\in\mathcal{F}\}=\{0\}.$$

یعنی هرچنین $\mathcal{F}$ ی گردایه‌ای پوچ‌توان از ماتریس‌ها خواهد بود. (آیا عکسِ این مطلب برقرار است؟)

بنا به گزاره‌های بنیادینی در جبر چون قضیهٔ ودربرن-آرتین (The Wedderburn-Artin Theorem) [4, Theorem IX.3.3] و قضیهٔ گُلدی (Goldie's Theorem) [4, Theorem IX.4.8] ردهٔ قابلِ ملاحظه‌ای از حلقه‌ها یکریخت با حلقه یا زیرحلقه‌ای از جمعِ مستقیمی از ماتریس‌های مربعی روی یک حلقهٔ تقسیم می‌باشد. از سوی دیگر، مسالهٔ پوچ‌توانیِ خانواده‌های خاصی از یک حلقه در جبر دارای اهمیت است. پس تحتِ شرایطی می‌توان از مفهوم مثلثی‌پذیریِ همزمان برای اثباتِ پوچ‌توانی در جبر استفاده نمود. باری، شاید یکی از اساسی‌ترین

اهداف نظریهٔ مثلثی‌پذیریِ همزمان فراهم آوردنِ شرایطی لازم و/یا کافی برای مثلثی‌پذیری گردایه‌های ویژه‌ای از ماتریس‌ها، به عنوان مثال نیم گروه‌های ماتریس‌ها، باشد. بدین معنی، همان‌گونه که عنوانِ این بخش بیان می‌دارد نظریهٔ مثلثی‌پذیریِ همزمان برحلقه‌های یکدار هنوز وجود ندارد؛ به دیگر سخن، همزادِ گزاره‌های کلاسیکی که در بخشِ بعدی خواهیم دید برای ماتریس‌ها روی یک حلقهٔ یکدار مسائلی حل ناشده و در حالِ حاضر دور از دسترسِ ما می‌باشند. حتی بر روی حلقه‌های تقسیم، نظریهٔ مثلثی‌پذیریِ همزمان هنوز در سرآغازِ راه است. به عنوان مثال، یکی از نخستین گزاره‌ها در مثلثی‌پذیریِ همزمان روی میدان‌های کلی این است که هر گردایهٔ جابه‌جایی از ماتریس‌های مثلثی‌پذیر خود مثلثی‌پذیر می‌باشد. همزادِ این گزاره بر روی حلقه‌های تقسیم، حتی برای یک جفتِ جابه‌جایی از ماتریس‌های مثلثی‌پذیر، مساله‌ای باز و حل ناشده می‌باشد!

۲. مثلثی‌سازیِ همزمان بر روی حلقه‌های تقسیم و میدان‌ها

بدان ای عزیز! که کار به حساب است نه به گِزاف؛
و تا سالک این نقطه را بر پی افتد راهی دراز بباید رفت...

عین القضات همدانی

از نظر تاریخی شاید بتوان گفت که نظریهٔ مثلثی‌سازی در سالِ ۱۹۰۹ با قضیهٔ I. Schur آغاز گردید. این قضیه بیان می‌دارد که هر ماتریسِ مربعی بر میدانِ اعدادِ مختلط مثلثی‌پذیر می‌باشد. در واقع، یک ماتریسِ مربعی با درایه‌های متعلق به یک میدانِ F مثلثی‌پذیر است اگر و تنها اگر چندجمله‌ای مینیمال آن ماتریس روی F به عواملِ خطی تجزیه شود. این مطلب به آسانی از لمِ مثلثی‌سازی، که در پی خواهد آمد، نتیجه می‌شود.

برای ارائهٔ روشن‌ترِ موضوع، اجازه دهید در این نقطه چند تعریف و نمادِ استاندارد را تثبیت کنیم. در طولِ این یادداشت، مگر آنکه خلافِ آن گفته شود، D و K به ترتیب نشانگرِ یک حلقهٔ تقسیم و یک میدان هستند. F همواره نشانگرِ زیر میدانی از مرکزِ D و یا زیرمیدانی از K است. همانگونه که مرسوم است، $\mathbb{F}$ را برای نشان دادنِ $\mathbb{R}$ یا $\mathbb{C}$، و $\mathbb{H}$ را برایِ نشان دادنِ حلقهٔ تقسیمِ کواترنیونها به کار می‌بریم. عضوهای $M_n(D)$، یعنی ماتریس‌های $n \times n$ با درایه‌های متعلق به D، را به عنوان تبدیل‌های خطی که بر چپِ D^n عمل می‌کنند می‌نگریم، که در آن D^n فضای برداریِ راستِ nـبعدی متشکل از بردارهای ستونیِ $n \times 1$ با درایه‌ها از D است. نمادِ $\mathcal{V}$ همواره نشانگرِ یک فضای برداریِ راست یا چپ روی D بوده و $\mathcal{L}(\mathcal{V})$ نشانگرِ مجموعهٔ، در واقع حلقهٔ، همهٔ تبدیل‌های خطیِ راست (به ترتیب: چپ) روی $\mathcal{V}$ است. اگر $\dim \mathcal{V} = n$، آنگاه، با تثبیت نمودنِ پایه‌ای چون B برای $\mathcal{V}$، در می‌یابیم که نگاشتی که به هر $T \in \mathcal{L}(\mathcal{V})$ ماتریسِ نمایشِ T در پایهٔ B، یعنی $[T]_B$، را متناظر می‌کند یک یکریختیِ حلقه‌ها از $\mathcal{L}(\mathcal{V})$ به روی $M_n(D)$ (به ترتیب: $M_n(D^{op})$) است، که در آن D^{op} حلقهٔ تقسیمِ عکسِ D می‌باشد ([4, Theorem VI.1.4]). توجه کنید که جمع و ضرب در $M_n(D)$ (به ترتیب: $M_n(D^{op})$) همان جمع و ضربِ معمولیِ ماتریس‌ها و در $\mathcal{L}(\mathcal{V})$ همان جمع معمولی و ضرب یا ترکیبِ تبدیل‌های خطی است. اکنون روشن است که یک خانوادهٔ $\mathcal{F} \subseteq M_n(D)$ مثلثی‌پذیر است اگر و تنها اگر پایه‌ای B برای D^n موجود باشد به طوری که ماتریسِ نمایشِ عضوهای $\mathcal{F}$ نسبت به پایهٔ B همگی ماتریس‌هایی بالا مثلثی باشند. برای یک خانوادهٔ $\mathcal{F} \subseteq \mathcal{L}(\mathcal{V})$، جابه‌جا شوندهٔ (commutant) $\mathcal{F}$ را با $\mathcal{F}'$ نشان داده و بنا بر تعریف

$$\mathcal{F}' = \{T \in \mathcal{L}(\mathcal{V}) : ST = TS \; \forall S \in \mathcal{F}\}.$$

تعریفِ دیگری که می‌توان برای مثلثی‌پذیریِ همزمان ارائه داد تعریفِ متعارفِ این مفهوم بر حسبِ زیرفضاهای پایا می‌باشد. این تعریف دارای این برتری است که مستقل از شرطِ متناهی‌بعد بودنِ فضای زمینه می‌باشد. یادآور می‌شویم که یک زیرفضای $\mathcal{M}$ را برای یک خانوادهٔ $\mathcal{F}$ از تبدیل‌های خطی یک زیر فضای پایا (invariant subspace) می‌خوانیم هر گاه $\mathcal{F}\mathcal{M} \subseteq \mathcal{M}$. $\mathcal{M}$ را برای $\mathcal{F}$ فراپایا (hyperinvariant) خوانیم هر گاه $(\mathcal{F} \cup \mathcal{F}')\mathcal{M} \subseteq \mathcal{M}$، یعنی، $T\mathcal{M} \subseteq \mathcal{M}$ برای هر $T \in \mathcal{F} \cup \mathcal{F}'$. یک خانوادهٔ $\mathcal{F}$ از تبدیل‌های خطی را تحویل‌پذیر (reducible) می‌نامیم هر گاه $\mathcal{F} = \{0\}$ یا $\mathcal{F}$ دارای یک زیر فضای پایای غیر بدیهی، یعنی غیر از $\{0\}$ و $\mathcal{V}$، باشد. این تعریف اندکی نامتعارف است ولی بیانِ بعضی از گزاره‌هایی را که در پی‌خواهند آمد ساده می‌کند. $\mathcal{F}$ را تحویل‌ناپذیر (irreducible) می‌خوانیم هر گاه، تحویل پذیر نباشد.

برای یک ماتریسِ $A \in M_n(F)$ می‌توان نشان داد که A به عنوانِ یک ماتریس تحویل‌ناپذیر است اگر و تنها اگر چند جمله‌ایِ ویژهٔ A روی میدانِ F تحویل‌ناپذیر باشد. همچنین می‌توان دید که $A \in M_n(F)$ ($n > 1$) دارای زیرفضای غیرِ بدیهی فراپایا نمی‌باشد اگر و تنها اگر چند جمله‌ایِ مینیمالِ A روی F تحویل ناپذیر باشد. ([14, Lemma 2.2.20]).

برای یک فضای، نه لزوماً متناهی‌بعد، $\mathcal{V}$، یک خانوادهٔ $\mathcal{F} \subseteq \mathcal{L}(\mathcal{V})$ از تبدیل‌های خطی را مثلثی‌پذیرِ همزمان و یا به طور ساده مثلثی‌پذیر می‌خوانیم هر گاه زنجیری ماکسیمال (بیشین) از زیرفضاهای $\mathcal{V}$ موجود باشد به طوری که هر یک برای $\mathcal{F}$ یک زیرفضای پایا باشد. روشن است که اگر $\dim\mathcal{V} < \infty$، آنگاه مثلثی‌پذیریِ $\mathcal{F} \subseteq \mathcal{L}(\mathcal{V})$ هم‌ارز با این است که پایه‌ای برای $\mathcal{V}$ موجود باشد به طوری که ماتریسِ نمایشِ عضوهای $\mathcal{F}$ نسبت به آن پایه همگی ماتریس‌هایی بالا مثلثی باشند.

مفاهیم تحویل‌پذیری و مثلثی‌پذیری را می‌توان برحسبِ عضوهای خودتوانِ حلقهٔ $\mathcal{L}(\mathcal{V})$ به صورتِ زیر تعریف نمود.

یادآور می‌شویم که یک تصویر (projection) یا یک عضوِ خودتوانِ $\mathcal{L}(\mathcal{V})$ (idempotent element) یک تبدیلِ خطیِ $P \in \mathcal{L}(\mathcal{V})$ است به طوری که $P^2 = P$. اگر P خودتوان باشد و

$$\mathcal{M} := \{x \in \mathcal{V} : Px = x\} = P\mathcal{V},$$

$$\mathcal{N} := \{x \in \mathcal{V} : Px = 0\} = \ker P,$$

آنگاه P را یک تصویر بر $\mathcal{M}$ به موازاتِ $\mathcal{N}$ می‌خوانیم. در چنین حالتی $\mathcal{M}, \mathcal{N}$ زیر فضاهای مکمل (complementary subspaces) $\mathcal{V}$ هستند، یعنی، $\mathcal{M}+\mathcal{N}=\mathcal{V}$ و $\mathcal{M}\cap\mathcal{N}=\{0\}$. گیریم $P, Q \in \mathcal{L}(\mathcal{V})$ دو عضوِ خودتوان باشند. بنا بر تعریف، $P \leq Q$ اگر که $PQ = P = QP$؛ یا به طورِ معادل، $P\mathcal{V} \subseteq Q\mathcal{V}$، یا $\ker P \supseteq \ker Q$ ([7, Lemma 7.5.2]). بنا بر برهانِ [7, Theorem 6.4.5.(i)] یک زیر فضای $\mathcal{M}$ برای یک خانوادهٔ $\mathcal{F} \subseteq \mathcal{L}(\mathcal{V})$ یک زیرفضای پایا (به ترتیب: فراپایا) است اگر و تنها اگر یک تصویرِ P بر $\mathcal{M}$ موجود باشد به طوری که $TP = PTP$ به ازای هر $T \in \mathcal{F}'$ (به ترتیب: $TP = PTP$ به ازای هر $T \in \mathcal{F}\cup\mathcal{F}'$). در نتیجه، اگر $\dim\mathcal{V} < \infty$، آنگاه مثلثی‌پذیریِ یک خانوادهٔ $\mathcal{F} \subseteq \mathcal{L}(\mathcal{V})$ هم ارز است با اینکه یک زنجیرِ P_i $(i = 0, \ldots, \dim\mathcal{V})$ از عضوهای خودتوان موجود باشند به طوری که

$$0 = P_0 < P_1 < \cdots < P_{\dim\mathcal{V}} = I,$$

و $TP_i = P_iTP_i$ به ازای هر $T \in \mathcal{F}$ و $i = 1, \ldots, \dim\mathcal{V}$. اگر $\mathcal{X}$ یک فضای هیلبرتِ (به ترتیب: باناخ) حقیقی یا مختلطِ متناهی‌بعد باشد، در بالا می‌توان فرض کرد که $\|P_i\| = 1$ (به ترتیب: $\|P_i\| \leq \sqrt{\dim\mathcal{X}}$)، طبقِ [1, Theorem 4.15]) برای هر $1 \leq i \leq \dim\mathcal{X}$، که در آن $\|.\|$ نرم عملگریِ القایی به وسیلهٔ نرمِ $\mathcal{X}$ می‌باشد. برهانِ نخستین گزاره‌ای که ارائه می‌دهیم از تعریفِ بالای مثلثی‌پذیری استفاده کرده و نشان می‌دهد که مفهومِ مثلثی‌پذیریِ همزمان تحتِ اعمالِ حدیِ ویژه‌ای پایا است. یادآور می‌شویم که اگر $\mathcal{V}$ یک فضای نرمدارِ حقیقی یا مختلط باشد، $\mathcal{B}(\mathcal{V})$ را برای نشان دادنِ جبرِ همهٔ عملگرهای خطیِ کراندار روی $\mathcal{V}$ به کار می‌گیریم.

قضیهٔ ۲.۱ (قضیهٔ مثلثی‌پذیریِ تقریبی). گیریم $\mathcal{F}$ خانواده‌ای از تبدیل‌های خطی بر یک فضای برداریِ متناهی‌بعدِ $\mathcal{V}$ روی $\mathbb{F}$ با خاصیتِ زیر باشد. برای هر زیرخانوادهٔ متناهیِ $\{A_1, \ldots, A_m\}$ از $\mathcal{F}$ و برای هر $\epsilon > 0$، یک خانوادهٔ مثلثی‌پذیرِ $\{T_1, \ldots, T_m\}$ موجود است به طوری که به ازای هر $1 \leq j \leq m$،

$$\|A_j - T_j\| < \epsilon,$$

که در آن $\|.\|$ نشانگر نرمی دلخواه بر $\mathcal{B}(\mathcal{V})$ می‌باشد. در این صورت، $\mathcal{F}$ مثلثی‌پذیر است.

برای برهان به [13, Theorem 2.4] نگاه کنید.

توضیح: همزادهای قضیهٔ مثلثی‌پذیریِ تقریبیِ بالا و قضیهٔ تحویل پذیریِ تقریبی (Near Reducibility Theorem) پایین برای گردایه‌های تبدیل‌های خطی چپ یا راست بر یک فضای برداری چپ یا راستِ متناهی‌بعد روی $\mathbb{H}$، حلقهٔ تقسیم کواترنیون‌ها، برقرار است.

گزارهٔ زیر روایتِ قوی‌تری از قضیهٔ مثلثی‌پذیریِ تقریبی است که در واقع همزادش برای گردایه‌های عملگرهای از ردهٔ $\mathcal{C}_p$ روی فضاهای هیلبرتِ حقیقی یا مختلط برقرار می‌باشد (نگاه کنید به [14, Theorem 3.3.3]).

قضیهٔ ۲.۲. گیریم $\mathcal{F}$ خانواده‌ای از تبدیل‌های خطی (به ترتیب: عملگرهای $\mathcal{C}_p$، که در آن $p \geq 1$) بر یک فضای متناهی‌بعدِ $\mathcal{V}$ روی $\mathbb{F}$ (به ترتیب: بر یک فضای هیلبرتِ حقیقی یا مختلطِ $\mathcal{H}$) با خاصیتِ زیر باشد. برای هر زیر خانوادهٔ متناهیِ $\{A_1, \ldots, A_m\}$ از $\mathcal{F}$، یک عددِ ثابتِ $K > 0$ موجود است به طوری که برای هر $\epsilon > 0$ خانواده‌ای مثلثی‌پذیرِ $\{T_1, \ldots, T_m\}$ و یک تبدیلِ خطیِ (به ترتیب: عملگرِ کراندار) وارون‌پذیرِ $S = S_\epsilon$ موجود است به طوری که به ازای هر $1 \leq j \leq m$،

$$\|T_j\| \leq K, \|S^{-1}A_jS - T_j\| < \epsilon,$$

که در آن $\|.\|$ نشانگرِ نرمی دلخواه (به ترتیب: نشانگرِ نرم عملگری) بر $\mathcal{B}(\mathcal{V})$ (به ترتیب: $\mathcal{B}(\mathcal{H})$) می‌باشد. در این صورت، $\mathcal{F}$ مثلثی‌پذیر است.

یادآور می‌شویم که برای یک تبدیلِ خطیِ داده شدهٔ T، یک خانوادهٔ $\mathcal{F}$ از تبدیل‌های خطی روی یک فضای نرمدارِ برداریِ حقیقی یا مختلطِ $\mathcal{V}$ و یک نرمِ $\|.\|$ روی $\mathcal{B}(\mathcal{V})$، بنا بر تعریف،

$$\operatorname{dist}(\mathcal{F}, T) := \inf\{\|A - T\| : A \in \mathcal{F}\}.$$

گزارهٔ زیر نتیجه‌ای سرراست و آنی از قضیهٔ مثلثی‌پذیریِ تقریبی است.

نتیجهٔ ۲.۳. گیریم $\mathcal{F}_i$ و $\mathcal{F}$ $(i \in \mathcal{N})$ خانواده‌هایی ناتهی از تبدیل‌های خطی بر یک فضای برداریِ حقیقی یا مختلطِ متناهی‌بعدِ $\mathcal{V}$ باشند. اگر هر یک از $\mathcal{F}_n$ ها $(n \in \mathcal{N})$ مثلثی‌پذیر باشد و به ازای هر $A \in \mathcal{F}$، $\lim_n \operatorname{dist}(\mathcal{F}_n, A) = 0$، آنگاه، $\mathcal{F}$ مثلثی‌پذیر است.

برهان: قضیهٔ ۲.۱. □

مفهومِ تحویل پذیری چون مفهومِ مثلثی‌پذیری تحتِ اعمالِ حدیِ ویژه‌ای پایا است.

قضیهٔ ۲.۴ (قضیهٔ تحویل‌پذیریِ تقریبی). گیریم $\mathcal{F}$ خانواده‌ای از تبدیل‌های خطی بر یک فضای برداریِ متناهی‌بعدِ $\mathcal{V}$ روی $\mathbb{F}$ با خاصیتِ زیر باشد. برای هر زیر خانوادهٔ متناهیِ $\{A_1, \ldots, A_m\}$ از $\mathcal{F}$ و برای هر $\epsilon > 0$، خانواده‌ای تحویل پذیر $\{T_1, \ldots, T_m\}$ موجود است به طوری که به ازای هر $1 \leq j \leq m$،

$$\|A_j - T_j\| < \epsilon.$$

در این صورت، $\mathcal{F}$ تحویل‌پذیر است.

برای برهان به [13, Theorem 2.10] نگاه کنید.

روشن است که مثلثی‌پذیریِ یک خانواده در فضاهای با بعدِ بیشتر از یک، تحویل‌پذیریِ آن خانواده را ایجاب می‌کند. حال در خواهیم یافت

که برای خانواده‌های ویژه‌ای از تبدیل‌های خطی، تحویل‌پذیریِ آن خانواده مثلثی‌پذیری‌اش را ایجاب می‌کند. این امر از طریق لمی موسوم به لمِ مثلثی‌سازی (The Triangularization Lemma) انجام می‌گیرد.

نخست به ذکرِ مقدماتِ لازم برای بیانِ لمِ مثلثی‌سازی می‌پردازیم. گیریم $\mathcal{V}$ یک فضای برداریِ چپ بر یک حلقهٔ تقسیمِ D و $\mathcal{N}$ یک زیرفضای $\mathcal{V}$ باشد. بنا به تعریف فضای خارجِ قسمتی $\mathcal{V}/\mathcal{N}$ گردایهٔ همهٔ هم‌مجموعه‌های $[x] = x+\mathcal{N} = \{x+z : z \in \mathcal{N}\}$ $(x \in \mathcal{V})$ است. $\mathcal{V}/\mathcal{N}$ با جمعِ برداری و ضربِ عددیِ زیر تشکیل یک فضای برداریِ چپ روی D می‌دهد

$$[x] + [y] := [x + y], \quad \lambda[x] := [\lambda x].$$

اگر A یک تبدیلِ خطیِ چپ روی $\mathcal{V}$ بوده و یک زیرفضای $\mathcal{N}$ تحتِ A پایا باشد، آنگاه تبدیلِ خطیِ القاییِ $\hat{A} : \mathcal{V}/\mathcal{N} \to \mathcal{V}/\mathcal{N}$ را با $\hat{A}[x] = [Ax]$ تعریف می‌کنیم. پایا بودنِ $\mathcal{N}$ تحتِ A ایجاب می‌کند که $\hat{A}$ خوش‌تعریف باشد. حال اگر $\mathcal{F}$ خانواده‌ای از تبدیل‌های خطی روی $\mathcal{V}$ بوده و $\mathcal{M}$ و $\mathcal{N}$ با $\mathcal{N} \subset \mathcal{M}$ زیرفضاهایی متمایز و پایا برای خانوادهٔ $\mathcal{F}$ باشند، آنگاه خانوادهٔ تبدیل‌های خارجِ قسمتیِ خانوادهٔ $\mathcal{F}$ نسبت به $\{\mathcal{M},\mathcal{N}\}$ مجموعهٔ همهٔ تبدیل‌های خارجِ قسمتیِ القاییِ $\hat{A} : \mathcal{M}/\mathcal{N} \to \mathcal{M}/\mathcal{N}$ است، که در آن $A \in \mathcal{F}$. همین طور می‌توان خانوادهٔ تبدیل‌های خارجِ قسمتی برای یک خانواده از تبدیل‌های خطیِ راست بر یک فضای برداریِ راست روی D را تعریف کرد. بنا به تعریف، می‌گوییم یک خاصیتِ $\mathcal{P}$ با گذر به خارجِ قسمت به ارث می‌رسد هرگاه خانوادهٔ خارجِ قسمتیِ هر خانواده با خاصیتِ $\mathcal{P}$ خود دارای خاصیتِ $\mathcal{P}$ باشد.

می‌توان دید که خواصِ جابه‌جاییِ عضوهای یک خانواده، پوچ‌توانیِ عضوهای یک خانواده، مثلثی‌پذیریِ یک خانواده، داشتنِ عضوهای با رتبهٔ کمتر از یک عددِ ثابتِ داده شده و ...، مثال‌هایی از خواصی‌اند که با گذر به خارجِ قسمت به ارث می‌رسند. حال آماده‌ایم که لمِ مثلثی‌سازی را ارائه دهیم ([7, Lemma 1.1.4]).

لم ۲.۵ (لمِ مثلثی‌سازی). گیریم $\mathcal{P}$ مجموعه‌ای از خواصِ خانواده‌های تبدیل‌های خطیِ چپ یا راست بوده که هر کدام از آنها با گذر به خارجِ قسمت به ارث می‌رسد. اگر هر خانواده از تبدیل‌های خطیِ چپ یا راست با خاصیتِ $\mathcal{P}$ بر یک فضای برداریِ چپ یا راست با بعدِ بیشتر از یک تحویل‌پذیر باشد، آنگاه هر خانواده با خاصیتِ $\mathcal{P}$ مثلثی‌پذیر است.

لمِ بالا برهانِ بسیاری از گزاره‌های مثلثی‌پذیری را به گزاره‌های تحویل‌پذیری تبدیل می‌کند. به عنوان مثال اینکه هر ماتریسِ پوچ‌توان بر یک حلقهٔ تقسیم مثلثی‌پذیر است، اینکه هر گردایهٔ جابه‌جایی از ماتریس‌های مثلثی‌پذیری بر یک میدان مثلثی‌پذیر است، اینکه هر ماتریسِ مربعی با درایه‌ها از حلقهٔ تقسیمِ کواترنیون‌ها مثلثی‌پذیر است، به آسانی از لمِ مثلثی‌سازیِ بالا حاصل می‌گردند.

پیش از اینکه به بیانِ گزارهٔ بعدی بپردازیم، چند تعریفِ دیگر ارائه می‌دهیم. گیریم R یک زیر حلقهٔ F باشد. منظور از یک Rـجبر در $\mathcal{L}(\mathcal{V})$ (به ترتیب: $(M_n(D)$) زیرحلقه‌ای از $\mathcal{L}(\mathcal{V})$ (به ترتیب: $(M_n(D)$) می‌باشد که نسبت به ضربِ عددی بوسیلهٔ عضوهای زیرحلقهٔ R بسته باشد. اگر $\mathcal{F}$ خانواده‌ای در $\mathcal{L}(\mathcal{V})$ (به ترتیب: $(M_n(D)$) باشد، نمادِ $\mathrm{Alg}_R(\mathcal{F})$ را برای نشان دادنِ Rـجبرِ تولید شده به وسیلهٔ $\mathcal{F}$ بکار می‌بریم. یک Fـجبرِ $\mathcal{A}$ در $\mathcal{L}(\mathcal{V})$ (به ترتیب: $(M_n(D)$) را Fـجبری می‌خوانیم هرگاه عضوهای $\mathcal{A}$ همگی در چند جمله‌ایهایی با ضرایب در F صدق نمایند. برای $A \in M_n(D)$، گوییم $\lambda \in D$ یک ویژه‌مقدارِ داخلی (inner eigenvalue) نسبت به یک عضوِ $\mathcal{M}$ از یک زنجیرِ مثلثی‌سازِ $\mathcal{C}$ برای A است اگر برداری ستونی چون $x \in \mathcal{M}$ موجود باشد به طوری که $Ax - x\lambda \in \mathcal{M}_-$، که در آن $\mathcal{M}_-$ عضوِ پیشینِ $\mathcal{M}$ در زنجیرِ $\mathcal{C}$ است (توجه کنید که $\dim \mathcal{M}/\mathcal{M}_- = ۱$). اگر $D = K$، آنگاه ویژه‌مقدارهای داخلیِ $A \in M_n(K)$ نسبت به عضوهای یک زنجیرِ مثلثی‌سازِ $\mathcal{C}$ از A همان ویژه‌مقدارهای A می‌باشند. همچنین، اگر ویژه‌مقدارهای $A \in M_n(D)$ نسبت به عضوهای یک زنجیرِ مثلثی‌سازِ A در $F \subseteq Z(D)$ واقع باشند، آنگاه به آسانی می‌توان دید که ویژه‌مقدارهای A نسبت به عضوهای هر زنجیرِ مثلثی‌سازِ A در F واقع خواهند بود. برای یک میدانِ داده شدهٔ F و $k \in \mathbb{N}$ که $k > ۱$، میدانِ F را kـبسته می‌خوانیم اگر که هر چند جمله‌ای از درجهٔ k روی F تحویل پذیر باشد. روشن است که میدانِ F به طورِ جبری بسته است اگر و تنها اگر F برای هر $k \in \mathbb{N}$، که $k > ۱$، kـبسته باشد؛ می‌توان دید که میدان اعدادِ حقیقی برای هر $k \in \mathbb{N}$ که $k > ۲$، kـبسته است ولی ۲ـبسته نیست. دیگر اینکه توسیع‌های متناهیِ میدان‌های اول، یعنی $\mathbb{Q}$ و $\mathbb{Z}_p$ که در آن p عددی اول است، برای هر $k \in \mathbb{N}$ که $k > ۱$، kـبسته نمی‌باشند. گوییم گردایهٔ $\mathcal{C} \subseteq M_n(D)$ بر F تعریف می‌شود هرگاه ماتریسی مانند $S \in \mathrm{GL}_n(D)$ موجود باشد به طوری که $S^{-۱}\mathcal{C}S \subseteq M_n(F)$. ابتدا با الهام از [7, Lemma 2.1.12] لمِ ساده و مفیدِ زیر را ارائه می‌دهیم.

لم ۲.۶. گیریم $\mathcal{V}$ یک فضای برداریِ راست (به ترتیب: چپ) روی یک حلقهٔ تقسیمِ D، $\mathcal{S}$ یک نیم‌گروه در $\mathcal{L}(\mathcal{V})$، و $T \in \mathcal{L}(\mathcal{V})$ یک تبدیل خطیِ چپ *(به ترتیب: راست)* ناصفر باشد. اگر $\mathcal{S}$ تحویل ناپذیر باشد، آنگاه $T\mathcal{S}|_{\mathcal{R}}$ نیز چنین خواهد بود، که در آن $\mathcal{R} = T\mathcal{V}$ بردِ T است.

اکنون با استفاده از لمِ بالا برهانی ساده برای گزارهٔ زیر موسوم به قضیهٔ لویتسکی (Levitzki's Theorem) ارائه می‌دهیم.

قضیهٔ ۲.۷ (قضیهٔ لویتسکی). گیریم $n \in \mathbb{N}$ و D یک حلقهٔ تقسیم باشد. در این‌صورت، هر نیم‌گروه $\mathcal{S}$ متشکل از عضوهای پوچ‌توان در $M_n(D)$ مثلثی‌پذیر است.

برهان. بر اساسِ لم مثلثی‌سازیِ بالا، کافی است نشان دهیم که S تحویل‌پذیر است. برای این منظور، به استقراء روی $n = \dim D^n$ عمل می‌کنیم. اگر $n = ۱$، چیزی برای اثبات نداریم. گیریم حکم برای تبدیلهای خطی بر فضاهای با بعدِ کمتر از n برقرار باشد. حال فرض کنید $S \subseteq M_n(D)$ یک نیم‌گروه متشکل از ماتریس‌های پوچ‌توان باشد. ماتریسی $T \in S$ اختیار کرده و توجه کنید که $\text{rank}T < n$ زیرا T پوچ‌توان است. قرار دهید $\mathcal{R} = TD^n$. بنابراین، بر طبقِ لم ۲.۶، تحویل‌پذیریِ $TS|_{\mathcal{R}}$ تحویل‌پذیریِ S را ایجاب می‌کند. ولی بنا بر فرضِ استقراء $TS|_{\mathcal{R}}$ تحویل‌پذیر است چرا که $TS|_{\mathcal{R}}$ نیم‌گروهی از تبدیلهای خطیِ پوچ‌توان بر یک فضای با بعدِ کمتر از n می‌باشد. این برهان را به پایان می‌رساند. □

قضیهٔ لویتسکی نتیجهٔ زیر را بدست می‌دهد که نشان می‌دهد که مثلثی‌پذیریِ یک خانواده از ماتریس‌های مثلثی‌پذیر با ویژه‌مقدارهای داخلی در مرکزِ یک حلقهٔ تقسیم به حلقهٔ تقسیمِ زمینه بستگی ندارد.

نتیجهٔ ۲.۸. گیریم $D \subseteq D'$ دو حلقهٔ تقسیم، F یک زیر میدانِ $Z(D) \cap Z(D')$، $n \in \mathbb{N}$، و $\mathcal{F}$ خانواده‌ای از ماتریس‌های مثلثی‌پذیر با ویژه‌مقدارهای داخلی در F باشد. در این‌صورت، $\mathcal{F}$ روی D مثلثی‌پذیر است اگر و تنها اگر $\mathcal{F}$ روی D' مثلثی‌پذیر باشد. به ویژه، خانواده‌ای از ماتریس‌های پوچ‌توان در $M_n(D)$ مثلثی‌پذیر است اگر و تنها اگر آن خانواده روی یک حلقهٔ تقسیم D' که شاملِ D است مثلثی‌پذیر باشد.

برای برهان به [15, Corollary 1.4] نگاه کنید.

در برهانِ قضیهٔ زیر نیز از قضیهٔ لویتسکی استفاده می‌شود.

قضیهٔ ۲.۹. گیریم D یک حلقهٔ تقسیم، F مرکزِ D، $\mathcal{V}$ یک فضای برداریِ چپ یا راستِ متناهی‌بعد و بیشتر از یک روی D، و $\mathcal{F}$ یک خانوادهٔ مثلثی‌پذیر از تبدیل‌های خطیِ چپ یا راست روی $\mathcal{V}$ بوده به طوری که F-جبرِ تولید شده به وسیلهٔ $\mathcal{F}$ شاملِ یک تبدیلِ خطیِ پوچ‌توانِ ناصفر باشد. در این صورت، $\mathcal{F}$ یک زیر فضای غیر بدیهیِ فراپایا دارد.

برای برهان به [14, Theorem 4.2.4] نگاه کنید.

توضیح: گیریم $n = ۲q$ به ازای عددی چون $q \in \mathbb{N}$ و $\mathcal{F} = \{T\}$ که در آن $T = \begin{pmatrix} I_q & ۰ \\ ۰ & -I_q \end{pmatrix} \in M_n(\mathbb{H})$، و I_q نشانگرِ ماتریسِ همانی از مرتبهٔ q است. می‌توان دید که $\mathcal{F}$ روی $\mathbb{H}$ مثلثی‌پذیر بوده، $\text{Alg}_{\mathbb{R}}(\mathcal{F})$ شاملِ هیچ ماتریسِ پوچ‌توانِ ناصفر نیست، و $\mathcal{F}$ دارای زیر فضای غیرِ بدیهیِ فراپایا نمی‌باشد [8, Theorem 3.1].

قضیهٔ زیر، از حیدر رجوی، گزارهٔ معروفی از اِنگِل (Engel) [7, Corollary 1.7.6] در ارتباط با مثلثی‌سازیِ جبرهای لی (Lie Algebras) تبدیل‌های پوچ‌توان و نیز قضیه‌ای از جیکوبسن (Jacobson) [7, Corollary 1.7.4] را به فضاهای برداریِ متناهی‌بعد روی حلقه‌های تقسیم تعمیم می‌دهد. توجه کنید که گزارهٔ زیر را می‌توان به عنوانِ تعمیمی از قضیهٔ لویتسکی نیز در نظر گرفت. برهانِ رجوی بر میدان‌های دلخواه انجام شده است. ولی به راحتی می‌توان دید که برهانِ ایشان بر حلقه‌های تقسیم نیز کار می‌کند.

قضیهٔ ۲.۱۰ (رجوی). گیریم $\mathcal{V}$ یک فضای برداریِ چپ یا راستِ متناهی‌بعد روی یک حلقهٔ تقسیم D باشد. یک مجموعهٔ $\mathcal{N}$ از تبدیل‌های پوچ‌توان در $\mathcal{L}(\mathcal{V})$ مثلثی‌پذیر است هر گاه به ازای هر $A, B \in \mathcal{N}$، یک چند جمله‌ایِ P از دو متغیرِ ناجابه‌جایی با ضرایب در مرکزِ D موجود باشد به طوری که $AB + P(A,B)A \in \mathcal{N}$.

گزارهٔ زیر، قضیه‌ای از نوع قضیهٔ ودربرن-آرتین برای F-جبرهای ماتریس‌های F-جبریِ تحویل‌ناپذیر در $M_n(D)$ می‌باشد. توجه کنید که در گزارهٔ زیر هیچ شرطی در موردِ پایانیِ بُعد روی F-جبر یا روی حلقهٔ تقسیم فرض نشده است. حتی فرض نمی‌کنیم که حلقهٔ تقسیم بر روی F یا بر روی مرکزِ حلقهٔ تقسیم جبری است.

قضیهٔ ۲.۱۱. گیریم D یک حلقهٔ تقسیم، F یک زیر میدانِ مرکزِ D، و $\mathcal{A}$ یک F-جبرِ تحویل‌ناپذیر از ماتریس‌های F-جبری در $M_n(D)$ باشد. فرض کنید $r \in \mathbb{N}$ رتبهٔ مینیمال (کمین) و ناصفرِ اعضای $\mathcal{A}$ باشد. در این‌صورت، $r|n$، و، پس از یک تشابه، $\mathcal{A} = M_{\frac{n}{r}}(\Delta_r)$، که در آن Δ_r یک F-جبرِ تقسیمِ تحویل‌ناپذیر از ماتریس‌های F-جبری در $M_r(D)$ می‌باشد. به علاوه، $r|\text{rank}(A)$ برای هر $A \in \mathcal{A}$. به ویژه، پس از یک تشابه، $\mathcal{A} = M_n(\Delta_۱)$، که در آن $\Delta_۱$ یک زیر حلقهٔ تقسیمِ F-جبری از D است، اگر و تنها اگر $r = ۱$.

برای برهان به [15, Theorem 2.2] نگاه کنید.

توضیح: هر F-جبرِ تحویل‌ناپذیر از ماتریس‌های F-جبری در $M_n(D)$ شاملِ ماتریسِ همانی بوده و به عنوانِ یک جبر و یک حلقه آرتینیِ ساده می‌باشد.

یک نتیجهٔ آنیِ گزارهٔ بالا قضیهٔ زیر است که می‌توان آن را به عنوانِ تعمیمی از قضیهٔ برن‌ساید (Burnside) [7, Theorem 1.2.2] به F-جبرهای تحویل‌ناپذیر از ماتریس‌های مثلثی‌پذیر در $M_n(D)$ با ویژه‌مقدارهای داخلی در زیر میدانِ F در نظر گرفت.

قضیهٔ ۲.۱۲. گیریم D یک حلقهٔ تقسیم، F یک زیر میدانِ مرکزِ D، و $\mathcal{A}$ یک F-جبرِ تحویل‌ناپذیر از ماتریس‌های مثلثی‌پذیر در $M_n(D)$ باشد که دارای ویژه‌مقدارهای داخلی در F می‌باشند. در این صورت، پس از یک تشابه، $\mathcal{A} = M_n(F)$. بنابراین، $\mathcal{A}$ روی F تعریف می‌شود؛ $\mathcal{A}$ به طور مطلق تحویل‌ناپذیر است، یعنی $\mathcal{A}$ در هر $M_n(D')$، که در آن $D \subseteq D'$ و $Z(D) \subseteq Z(D')$، تحویل‌ناپذیر است؛ و سرانجام زیرمیدانِ F برای هر $k = ۲, ۳, \ldots, n$، k-بسته است.

اکنون به چند کاربرد قضیهٔ بالا می‌پردازیم. برای این منظور ابتدا به چند تعریف نیاز داریم. گیریم F یک میدان و $\mathcal{C}$ خانواده‌ای از ماتریس‌ها در $M_n(F)$ باشد. یک چندجمله‌ای با m متغیرِ ناجابه‌جایی و با ضرایب در F را یک *nilidentity* (پوچ‌اتحادِ) $\mathcal{C}$ می‌خوانیم اگر $P(A_1,\dots,A_n)$ به ازای هر $A_i \in \mathcal{C}$ ($1 \le i \le m$) پوچ‌توان باشد. چندجمله‌ای P را یک پوچ‌اتحادِ n-بدیهی یا به طور ساده n-بدیهی می‌نامیم هر گاه P یک پوچ‌اتحادِ $M_n(F)$ باشد. بخشِ سوّم نتیجهٔ زیر حالتِ ویژه‌ای از یک قضیهٔ گورال‌نیک (Guralnick) را به حلقه‌های تقسیم تعمیم می‌دهد ([3]). بخشِ چهارمِ نتیجهٔ زیر [7, Lemma 1.3.7] را تعمیم می‌دهد.

قضیهٔ ۲.۱۳. گیریم D یک حلقهٔ تقسیم و F یک زیر میدانِ مرکزِ D باشد. فرض کنید $\mathcal{A}$ یک F-جبر از ماتریس‌های مثلثی‌پذیر در $M_n(D)$ با ویژه‌مقدارهای داخلی در F باشد.

(i) F-جبرِ $\mathcal{A}$ مثلثی‌پذیر است اگر و تنها اگر $\mathcal{A}$ دارای یک پوچ‌اتحاد باشد که ۲-بدیهی نیست.

(ii) F-جبرِ $\mathcal{A}$ مثلثی‌پذیر است اگر $\operatorname{rank}(P(A_1,\dots,A_m)) \le 1$ به ازای هر $A_1,\dots,A_m \in \mathcal{A}$، که در آن P یک چندجمله‌ای با m متغیرِ ناجابه‌جایی با ضرایب در F است به طوری که $\operatorname{rank}(P(B_1,\dots,B_m)) \ge 2$ به ازای ماتریس‌هایی $B_i \in M_2(F)$، ($1 \le i \le m$).

(iii) F-جبرِ $\mathcal{A}$ مثلثی‌پذیر است اگر و تنها اگر $AB-BA$ به ازای هر $A, B \in \mathcal{A}$ پوچ‌توان باشد.

(iv) اگر $\operatorname{rank}(AB-BA) \le 1$ به ازای هر $A, B \in \mathcal{A}$، آنگاه F-جبرِ $\mathcal{A}$ مثلثی‌پذیر است.

(v) گیریم $\mathcal{A}$ یکدار باشد. در این صورت، F-جبرِ $\mathcal{A}$ مثلثی‌پذیر است اگر و تنها اگر $\frac{\mathcal{A}}{\operatorname{rad}(\mathcal{A})}$ جابه‌جایی باشد، که در آن $\operatorname{rad}(\mathcal{A})$ نشانگرِ رادیکالِ جیکوبسنِ جبرِ $\mathcal{A}$ است.

برای برهان به [15, Corollary 2.7] نگاه کنید.

توضیح: در [9]، نشان داده شده است که یک ایده‌آلِ یکطرفه از حلقهٔ تبدیل‌های خطی (به ترتیب: جبرِ عملگرهای خطیِ پیوسته) بر یک فضای برداری چپ یا راست روی یک حلقهٔ تقسیمِ D (به ترتیب: بر یک فضای محدبِ موضعیِ حقیقی یا مختلط) مثلثی‌پذیر است اگر و تنها اگر آن ایده‌آلِ یکطرفه به وسیلهٔ یک خودتوان از رتبهٔ یک تولید شده باشد اگر و تنها اگر به ازای هر A, B متعلق به آن ایده‌آلِ یک‌طرفه $\operatorname{rank}(AB-BA) \le 1$.

گزارهٔ زیر معیاری برای مثلثی‌پذیریِ F-جبرهای ماتریس‌ها در $M_n(D)$ با ویژه‌مقدارهای داخلی در یک زیر میدانِ F از مرکزِ D بدست می‌دهد، به این شرط که F ۲-بسته نباشد.

قضیهٔ ۲.۱۴. گیریم D یک حلقهٔ تقسیم، F یک زیر میدانِ مرکزِ D بوده که ۲-بسته نیست، و $\mathcal{A}$ یک F-جبر از ماتریس‌ها در $M_n(D)$ با ویژه‌مقدارهای داخلی در F باشد. در این‌صورت، $\mathcal{A}$ مثلثی‌پذیر است اگر و تنها اگر هر $A \in \mathcal{A}$ مثلثی‌پذیر باشد. برعکس، گیریم F یک زیر میدانِ مرکزِ D باشد. اگر هر F-جبرِ $\mathcal{A}$ از ماتریس‌های مثلثی‌پذیر در $M_n(D)$ با ویژه‌مقدارهای داخلی در F مثلثی‌پذیر باشد، آنگاه F ۲-بسته نیست. در نتیجه، یک زیر جبر $M_n(\mathbb{R})$ مثلثی‌پذیر است اگر و تنها اگر عضوهای آن زیر جبر مثلثی‌پذیر باشند.

برای برهان به [15, Theorem 2.8] نگاه کنید.

با استفاده از گزارهٔ بالا می‌توان برهانی جدید از قضیهٔ کاپلانسکی (Kaplanski's Theorem) ([7, Corollary 2.2.3]) ارائه داد.

نتیجهٔ ۲.۱۵ (قضیهٔ کاپلانسکی). گیریم $n \in \mathbb{N}$ و F یک میدان با $\operatorname{ch}F > n$ یا $= 0$، و S یک نیم‌گروه در $M_n(F)$ بوده که بر آن tr ثابت است. در این صورت، نیم‌گروه S مثلثی‌پذیر است. به ویژه برای یک چنین F ای، اگر tr بر یک نیم‌گروه S در $M_n(F)$ صفر باشد، آنگاه جبر تولید شده به وسیلهٔ S یک جبر پوچ‌توان از ماتریس‌ها خواهد بود.

اکنون، با استفاده از قضیهٔ ۲.۱۲ بالا می‌توانیم گزارهٔ زیر موسوم به قضیهٔ مثلثی‌سازیِ بلوکی (The Block Triangularization Theorem) را، که نتیجه‌ای آشنا برای جبرهای ماتریسها روی میدانهای بستهٔ جبری می‌باشد ([7, Theorem 1.5.1])، به F-جبرهای ماتریس‌های مثلثی‌پذیر با ویژه‌مقدارهای داخلی در F تعمیم دهیم. همانندِ نمادگذاری در [10]، گیریم $\mathcal{A}$ یک F-جبر در $M_n(D)$ به صورت بالا مثلثیِ بلوکی با ماتریس‌های روی قطرِ اصلی با مرتبه‌های $n_i \times n_i$، $1 \le i \le t$ و $n_1 + \dots + n_t = n$، باشد. برای $A \in \mathcal{A}$، نمادهای $\operatorname{dg}(A) = (A_1, \dots, A_t)$ و $i\text{-dg}(A) = A_i$ به ترتیب نشانگرِ بلوک‌های قطریِ A و i اُمین بلوک روی قطرِ اصلیِ A هستند.

نتیجهٔ ۲.۱۶ (قضیهٔ مثلثی‌سازیِ بلوکی). گیریم D یک حلقهٔ تقسیم، F یک زیر میدانِ مرکزِ D، و $\mathcal{A}$ یک F-جبر از ماتریس‌های مثلثی‌پذیر در $M_n(D)$ با ویژه‌مقدارهای داخلی در F باشند. در این صورت، پس از یک تشابه، $\mathcal{A}$ به صورتِ بالا مثلثیِ بلوکی می‌باشد به طوری که بلوک‌های قطریِ صفرِ $\mathcal{A}$، اگر موجود باشند، همگی یک بعدی‌اند و بلوک‌های قطریِ ناصفرِ $\mathcal{A}$ یا به صورت مرتبط و یا مستقل رخ می‌دهند. یعنی، پس از یک تشابه، $\mathcal{A}$ به صورت بالا مثلثیِ بلوکی با ماتریس‌های روی قطر اصلی با مرتبه‌های $n_i \times n_i$، $1 \le i \le t$، $n_1 + \dots + n_t = n$، می‌باشد به طوری که به ازای هر زوج (i, j)، $1 \le i, j \le t$، یا $n_i = n_j = 1$ و $i\text{-dg}(A) = j\text{-dg}(A) = 0$ هر گاه A روی $\mathcal{A}$ تغییر نماید، یا $n_i = n_j \ge 1$ و

$$\left\{ i\text{-dg}(A) = j\text{-dg}(A) : A \in \mathcal{A} \right\} = M_{n_i}(F)$$

یا

$$\left\{(i\text{-dg}(A), j\text{-dg}(A)) : A \in \mathcal{A}\right\} = M_{n_1}(F) \times M_{n_2}(F).$$

برای برهان به [15, Corollary 2.5] نگاه کنید.

توضیح: یک نتیجهٔ گزارهٔ بالا از قرار زیر است. گیریم $\mathcal{A}$ مانند گزارهٔ بالا باشد. اگر Fـجبر $\mathcal{A}$ نیم ساده باشد، آنگاه $\mathcal{A}$ شامل ماتریسِ همانی است اگر و تنها اگر $\ker \mathcal{A} := \bigcap_{A\in\mathcal{A}} \ker A = \{0\}$.

گیریم D و F مانند گزارهٔ بالا باشند. گزارهٔ زیر، با تقریبِ یک تشابه، تمام Fـجبرهای سادهٔ ماتریس‌های مثلثی‌پذیر با ویژه‌مقدارهای داخلی در F را که شاملِ ماتریسِ همانی هستند مشخص می‌کند.

نتیجهٔ ۲.۱۷. گیریم $n \in \mathbb{N}$، D یک حلقهٔ تقسیم، F یک زیر میدانِ مرکزِ D، و $\mathcal{A}$ یک Fـجبر ساده از ماتریس‌های مثلثی‌پذیر در $M_n(D)$ با ویژه‌مقدارهای داخلی در F بوده که شاملِ ماتریسِ همانی است. گیریم $r, m \in \mathbb{N}$ به ترتیب رتبهٔ مینیمالِ ناصفر در $\mathcal{A}$ و بعدِ یک زیرفضای پایای مینیمالِ $\mathcal{A}$ باشند. در این صورت،

(i) $m|n$، $r = \frac{n}{m}$ و پس از یک تشابه، $\mathcal{A} = \text{diag}(\mathcal{A}, \ldots, \mathcal{A})$، که در آن $\mathcal{A} \in M_m(F)$. بعلاوه، رتبهٔ مینیمالِ ناصفر در $\mathcal{A}$، یعنی r، به ازای هر $A \in \mathcal{A}$، $\text{rank}(A)$ را می‌شمارد.

(ii) پس از یک تشابه، $\mathcal{A} = M_n(F)$ اگر و تنها اگر $r = 1$.

گزارهٔ زیر یک نتیجهٔ آنی قضیهٔ مثلثی‌سازی بلوکی است.

نتیجهٔ ۲.۱۸. گیریم D یک حلقهٔ تقسیم، F یک زیر میدانِ مرکزِ D، و $\mathcal{A}$ یک Fـجبر از ماتریس‌های مثلثی‌پذیر در $M_n(D)$ با ویژه‌مقدارهای داخلی در F باشد. در این صورت، احکامِ زیر معادل‌اند.

(i) Fـجبر $\mathcal{A}$ مثلثی‌پذیر است.

(ii) اگر $A, B \in \mathcal{A}$ پوچ‌توان باشند، آنگاه $A + B$ نیز پوچ‌توان خواهد بود.

(iii) اگر $A, B \in \mathcal{A}$ و A یا B پوچ‌توان باشد، آنگاه AB نیز پوچ‌توان خواهد بود.

گزارهٔ بعدی را با الهام از قضیهٔ اثر رجوی (Radjavi's Trace Theorem) ([7, Theorem 2.2.1]) ارائه می‌دهیم. نخست به تعریفِ اثرـاتحاد می‌پردازیم. گیریم F یک میدان و $\mathcal{C}$ یک گردایه از ماتریس‌ها در $M_n(F)$ باشد. یک چند جمله‌ای P از m متغیرِ ناجابه‌جایی با ضرایب از F را یک اثرـاتحاد (trace identity) برای $\mathcal{C}$ می‌خوانیم اگر $\text{tr}(P(C_1, \ldots, C_m)) = 0$ به ازای هر $C_i \in \mathcal{C}$ $(1 \le i \le m)$. چند جمله‌ای P را یک اثرـاتحادِ nـبدیهی، یا به طور ساده nـبدیهی، می‌نامیم هرگاه که P یک اثرـاتحاد برای $M_n(F)$ باشد. روشن است که $P = x_1x_2 - x_2x_1$ برای هر $n \in \mathbb{N}$ یک اثرـاتحادِ nـبدیهی است. می‌توان دید که $P = (x_1x_2 - x_2x_1)^2 x_3x_3 - (x_1x_3 - x_3x_1)^2 x_2x_2$ یک اثر اتحادِ ۲ـبدیهی است که ۳ـبدیهی نمی‌باشد.

قضیهٔ ۲.۱۹. گیریم $n \in \mathbb{N}$، K یک میدان با $0 =$ یا $\text{ch}K > \frac{n}{2}$، و F یک زیر میدانِ K باشد. فرض کنید $\mathcal{A}$ یک Fـجبر از ماتریس‌های مثلثی‌پذیر در $M_n(K)$ با مقادیر ویژه در F، و P یک چندجمله‌ای از m متغیرِ ناجابه‌جایی با ضرایب در F بوده که یک اثر اتحادِ ۲ـبدیهی نیست. در این‌صورت، Fـجبر $\mathcal{A}$ مثلثی‌پذیر است اگر و تنها اگر P یک اثرـاتحادِ $\mathcal{A}$ باشد.

برای برهان به [15, Corollary 2.6] نگاه کنید.

سؤالِ زیر در [6] مطرح شد.

سؤال: گیریم $\mathcal{S}$ یک نیم‌گروهِ تحویل‌ناپذیر از ماتریس‌های مثلثی‌پذیر در $M_n(K)$ با مقادیر ویژه در یک زیر میدانِ F از K باشد. آیا $\mathcal{S}$ روی F تعریف می‌شود؟ به دیگر سخن، آیا ماتریسی وارون‌پذیر چون $T \in M_n(K)$ موجود است به طوری که $T^{-1}\mathcal{S}T \subseteq M_n(F)$؟

همانگونه که در [6] اشاره شده است، یک پاسخِ مثبت به سؤالِ بالا تعمیمی قوی از قضیهٔ معروفی از براوئر (Brauer) بدست می‌دهد. اکنون، با این فرض که زیر میدانِ F برای هر $k > 1$ که n را می‌شمارد kـبسته است یا اینکه F یک میدانِ متناهی است، به پرسشِ بالا با فرضِ ضعیفترِ اینکه نیم‌گروه $\mathcal{S}$ دارای اثر در میدانِ F است، پاسخی مثبت می‌دهیم.

قضیهٔ ۲.۲۰. (i) گیریم $n > 1$، K یک میدان، F یک زیر میدانِ K که به ازای هر $k > 1$ که n را بشمارد kـبسته است، و $\mathcal{S}$ یک نیم‌گروه تحویل‌ناپذیر در $M_n(K)$ باشد به طوری که $\{0\} \neq \text{tr}(\mathcal{S}) \subseteq F$. در این‌صورت، پس از یک تشابه، $\text{Alg}_F(\mathcal{S}) = M_n(F)$، و لذا $\mathcal{S}$ روی F تعریف می‌شود. به ویژه، اگر زیر میدانِ F بستهٔ جبری باشد، آنگاه، پس از یک تشابه، $\text{Alg}_F(\mathcal{S}) = M_n(F)$ و در نتیجه $\mathcal{S}$ روی F تعریف می‌شود.

(ii) گیریم $n > 1$، K یک میدان، F یک زیر میدانِ متناهی K، و $\mathcal{S}$ یک نیم‌گروه تحویل ناپذیر در $M_n(K)$ باشد به طوری که $\{0\} \neq \text{tr}(\mathcal{S}) \subseteq F$. در این‌صورت، $\mathcal{S}$ متناهی است و روی F تعریف می‌شود.

برای برهان به [15, Theorem 2.10]) نگاه کنید.

یادآور می‌شویم که روایتی از یک قضیهٔ برن‌ساید (Burnside) حکم می‌کند که تنها زیر جبرِ تحویل ناپذیر در $M_n(F)$ خودش می‌باشد اگر میدانِ F بستهٔ جبری باشد. گزارهٔ زیر توصیفی از تمامِ میدان‌های F که برای آنها قضیهٔ برن‌ساید در $M_n(F)$ برقرار است بدست می‌دهد.

قضیهٔ ۲.۲۱. گیریم F یک میدان باشد و $n > 1$. احکام زیر معادل‌اند.

(i) تنها جبرِ تحویل‌ناپذیر در $M_n(F)$ خودش است.

(ii) هر خانوادهٔ تحویل‌ناپذیر از ماتریس‌ها در $M_n(F)$ به طور مطلق تحویل‌ناپذیر است. یعنی هر چنین خانواده‌ای در هر $M_n(K)$ که K توسیعی از میدان F است تحویل ناپذیر می‌باشد.

(iii) جابه‌جاشوندهٔ هر خانوادهٔ تحویل‌ناپذیر از ماتریس‌ها در $M_n(F)$ از ماتریس‌های عددی، یعنی مضارب عددیِ ماتریسِ همانی، تشکیل می‌شود.

(iv) هر ماتریسِ غیر عددی، یعنی ماتریسی که مضربی عددی از ماتریسِ همانی نیست، در $M_n(F)$ دارای یک زیر فضای غیرِ بدیهیِ فراپایا است.

(v) میدانِ F برای هر $1 < k$ که n را بشمارد k-بسته است.

برای برهان به [14, Theorem 2.2.21] نگاه کنید.

با استفاده از قضیهٔ برن‌ساید و مفهوم مثلثی‌پذیری، می‌توان برهان ساده‌ای از یک قضیه ودربرن (Wedderburn) ارائه داد (به [11]و [14, Theorem 2.2.13] نگاه کنید.)

قضیهٔ ۲.۲۲ (ودربرن). گیریم F یک میدان و $\mathcal{A}$ یک جبرِ متناهی‌بعد روی میدانِ F باشد. اگر جبرِ $\mathcal{A}$ به عنوانِ یک فضای برداری دارای پایه‌ای متشکل از عضوهای پوچ‌توان باشد، آنگاه $\mathcal{A}$ به عنوان یک مجموعهٔ پوچ‌توان است؛ یعنی عددی مانند $n \in \mathbb{N}$ موجود است به طوری که $A_1 A_2 \cdots A_n = 0$ به ازای هر $A_i \in \mathcal{A}$ $(1 \le i \le n)$.

برای یک نیم‌گروهِ $\mathcal{S}$، زیرمجموعهٔ $\mathcal{I}$ از $\mathcal{S}$ را یک ایده‌آلِ نیم‌گروه $\mathcal{S}$ می‌خوانیم هرگاه $\mathcal{IS}, \mathcal{SI} \subseteq \mathcal{I}$. قضیهٔ زیر در برهانِ دوگزاره‌ای که پس از آن می‌آید نقشِ مهمی ایفا می‌کند.

قضیهٔ ۲.۲۳. گیریم F، $n \in \mathbb{N}$ یک میدان، $\mathcal{S}$ یک نیم‌گروهِ تحویل‌ناپذیر در $M_n(F)$، و $\mathcal{I}$ یک ایده‌آلِ ناصفرِ نیم‌گروهِ $\mathcal{S}$ باشد. در این‌صورت، یا tr بر $\mathcal{S}$ همواره صفر است و یا

$$\left\{A \in \operatorname{Alg}(\mathcal{S} \cup \{I_n\}) : \operatorname{tr}(A\mathcal{I}) = \{0\}\right\} = \{0\}.$$

برای برهان به [12, Theorem 2.2] نگاه کنید.

برای ارائهٔ دوگزارهٔ بعدی به تعریفِ طولِ یک جبرِ متناهی‌بعد نیاز داریم. گیریم $\mathcal{A}$ یک جبرِ متناهی‌بعد روی یک میدانِ F بوده و $\mathcal{S}$ یک زیرمجموعهٔ متناهیِ $\mathcal{A}$ باشد که مولدِ جبرِ $\mathcal{A}$ است. طولِ مجموعهٔ مولدِ $\mathcal{S}$ را با $\ell(\mathcal{S})$ نشان داده و بنا بر تعریف کوچکترین عددِ صحیحِ نامنفیِ k است به طوری که مجموعهٔ واژه‌های با طولِ حداکثر k از عضوهای $\mathcal{S}$، جبرِ $\mathcal{A}$ را به عنوان یک فضای برداری تولید می‌کنند. طولِ جبرِ $\mathcal{A}$، که آن را با $\ell(\mathcal{A})$ نشان می‌دهیم بنا به تعریف برابر است با

$$\ell(\mathcal{A}) := \max\{\ell(\mathcal{S}) : \text{است} \ \mathcal{A} \ \text{یک مجموعهٔ مولدِ متناهیِ} \ \mathcal{S}\}.$$

برای سادگی $\ell(M_n(F))$ را به اختصار با $\ell(n)$ نشان می‌دهیم. بنا به [5, Corollary 2.3]، داریم $\ell(n) < n\sqrt{\frac{2n^2}{n-1}+\frac{1}{4}}+\frac{n}{2}-2$. در دو گزارهٔ بعد به ترتیب تعمیم‌های مختصری از قضایای متعلق به رجوی و گورال‌نیک (Guralnick) را ارائه می‌دهیم. (به [7, Theorem 2.21] و [3] رجوع کنید.) یاد آور می‌شویم که قضیهٔ گورال‌نیک خود تعمیمی از قضیهٔ معروفی از مک‌کُی McCoy می‌باشد.

نتیجهٔ ۲.۲۴ (قضیهٔ اثرِ رجوی). (i) گیریم $n > 1$، F یک میدان با $0 =$ یا $\operatorname{ch}F > \frac{n}{2}$، $m \in \mathbb{N}$، و $\mathcal{F}$ خانواده‌ای از ماتریس‌های مثلثی‌پذیر در $M_n(F)$ باشد. در این‌صورت $\mathcal{F}$ مثلثی‌پذیر است اگر و تنها اگر به ازای هر $A, B \in \mathcal{F}$ و هر واژهٔ S از عضوهای $\mathcal{F}$ با طولِ دستکم m داشته باشیم $\operatorname{tr}((AB - BA)S) = 0$.

(ii) گیریم $n > 1$، F یک میدان با $0 =$ یا $\operatorname{ch}F > \frac{n}{2}$، و $\mathcal{F}$ یک خانواده از ماتریس‌های مثلثی‌پذیر در $M_n(F)$ باشد. در این‌صورت، $\mathcal{F}$ مثلثی‌پذیر است اگر و تنها اگر به ازای هر $A, B \in \mathcal{F}$ و هر واژهٔ S از عضوهای $\mathcal{F}$ با طولِ حداکثر $\ell(n)$ داشته باشیم $\operatorname{tr}(AB-BA)S) = 0$.

برای برهان به [12, Corollary 2.4] نگاه کنید.

نتیجهٔ ۲.۲۵. (i) گیریم F یک میدان، $m, n \in \mathbb{N}$، و $\mathcal{F}$ خانواده‌ای از ماتریس‌های مثلثی‌پذیر در $M_n(F)$ باشد. در این صورت، $\mathcal{F}$ مثلثی‌پذیر است اگر و تنها اگر $(AB - BA)S$ به ازای هر $A, B \in \mathcal{F}$ و هر واژهٔ S از عضوهای $\mathcal{F}$ با طولِ دستکم m پوچ‌توان باشد.

(ii) گیریم F یک میدان، $n \in \mathbb{N}$، و $\mathcal{F}$ خانواده‌ای از ماتریس‌های مثلثی‌پذیر در $M_n(F)$ باشد. در این صورت، $\mathcal{F}$ مثلثی‌پذیر است اگر و تنها اگر $(AB - BA)S$ به ازای هر $A, B \in \mathcal{F}$ و هر واژهٔ S از عضوهای $\mathcal{F}$ با طولِ حداکثر $\ell(n)$ پوچ‌توان باشد.

برای برهان به [12, Corollary 2.5] نگاه کنید.

سرانجام این بخش و لذا این مقاله را با گزاره‌ای از کولچین (Kolchin) ([7, Theorem 2.1.8])و تعمیمی از آن به پایان می‌آوریم.

قضیهٔ ۲.۲۶. (i) **(قضیهٔ کولچین)** گیریم $n \in \mathbb{N}$ و F یک میدان باشد. اگر $\mathcal{S}$ یک نیم‌گروه در $M_n(F)$ باشد که عضوهایش به صورت $I + N$ باشند که در آن N پوچ‌توان است، آنگاه $\mathcal{S}$ مثلثی‌پذیر است.

(ii) گیریم $n \in \mathbb{N}$، F یک میدان با $0 =$ یا $\operatorname{ch}F > \frac{n}{2}$، و $\mathcal{F}$ یک خانواده از ماتریس‌های مثلثی‌پذیر با اثرِ صفر باشد. در این صورت، هر نیم‌گروه از ماتریس‌های به شکل $I + A$ که در آن $A \in \mathcal{F}$، مثلثی‌پذیر است.

برای برهان به [7, Theorem 2.1.8] و [16, Remark 2 on Corollary 2.12] نگاه کنید.

******

منابع:

[1] B. Bollobás, *Linear Analysis*, Cambridge University Press, Cambridge, 1990.

[2] W. Burnside, *On the condition of reducibility of any group of linear substitutions*, Proc. London Math. Soc. **3** (1905), 430-434.

[3] R.M. Guralnick, *Triangularization of sets of matrices*, Linear Multilinear Algebra **9** (1980), 133-140.

[4] T.W. Hungerford, *Algebra*, Springer Verlag, New York, 1974.

[5] C.J. Pappacena, *An upper bound for the length of a finite-dimensional algebra*, J. Algebra **197** (1997), 535–545.

[6] M. Radjabalipour and H. Radjavi, *A finiteness lemma, Brauer's Theorem and other irreducibility results*, Comm. Algebra **27** (1) (1999), 301-319.

[7] H. Radjavi and P. Rosenthal, *Simultaneous Triangularization*, Springer Verlag, New York, 2000.

[8] M. Radjabalipour, P. Rosenthal, and B.R. Yahaghi, *Burnside's Theorem for matrix algebras over division rings*, Linear Algebra Appl. **383** (2004), 29-44.

[9] M. Radjabalipour and B.R. Yahaghi, *On one-sided ideals of rings of linear transformations or continuous linear operators*, Submitted.

[10] J.F. Watters, *Block triangularization of algebras of matrices*, Linear Algebra Appl. **32** (1980), 3-7.

[11] J.H.M. Wedderburn, Notes on algebras, Ann. of Math. **38** (1937), 854-856.

[12] B.R. Yahaghi, *On irreducible semigroups of operators with traces in a subfield*, Linear Algebra Appl. **383** (2004), 17-28.

[13] B.R. Yahaghi, *Near triangularizability implies triangularizability*, Canad Math. Bull. **47** (2) (2004), 298-313.

[14] B.R. Yahaghi, *Reducibility Results on Operator Semigroups*, Ph.D. Thesis, Dalhousie University, Halifax, Canada, 2002.

[15] B.R. Yahaghi, *On F-algebras of algebraic matrices over a subfield of the center of a division ring*, Linear Algebra Appl. **418** (2006), 599-613.

[16] B.R. Yahaghi, *On Simultaneous Triangularization of collections of compact operators*, Submitted.

* بامداد ر. یاحقی، محقق پژوهشکدهٔ ریاضیات.

به‌علت فنی بودن این مقاله که مخاطبان آن صرفاً افراد متخصص هستند، نثر آن ویرایش نشده است.

خبــــرها و گزارش‌ها

(پاییز ۱۳۸۵)

پژوهشکدهٔ ریاضیات

• سمینار یک روزهٔ معادلات دیفرانسیل و مسائل معکوس

این سمینار در تاریخ ۶ آذر ماه ۱۳۸۵ با همکاری پژوهشکدهٔ ریاضیات پژوهشگاه و گروه ریاضی دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره) در قزوین برگزار شد. هدف از برگزاری این سمینار آشنایی دانشجویان مقاطع مختلف به‌ویژه کارشناسی ارشد و دکتری در رشته‌های ریاضیات، علوم پایه و مهندسی با معادلات دیفرانسیل و مسائل معکوس بود. از دیگر اهداف آن سمینار، شناسایی افرادی بود که دراین شاخه مشغول به تحقیق‌اند و یا علاقه به تحقیق دارند.

درکنار معرفی تکنیک‌های ریاضی، کاربرد مسائل معکوس در صنعت نیز مطرح شد و همچنین نرم‌افزاری که می‌تواند یک مسالهٔ معکوس معادلات دیفرانسیل را حل کند و جواب آن را به‌دست آورد به طور جامع معرفی شد. عدهٔ دیگری از سخنرانان با هدفِ نشان دادن نمونه‌هایی ازکاربردهای مسائل معادلات دیفرانسیل و مسائل معکوس به بحث در مورد حل برخی مسائل واقعی در رشته‌های مختلف علوم و مهندسی پرداختند. از نکات شایان توجه در این سمینار استقبال نسبتاً مطلوب علاقه‌مندان از رشته‌های مختلف بود که همگی کمابیش به انگیزهٔ آشنایی با این رشته گرد آمده بودند. ارتباطات خوبی میان شرکت کنندگان در سمینار به‌وجود آمد. مستندات تمامی سخنرانی‌های ارائه شده در سمینار از طریق نشانی http://www.ipm.ac.ir/ode2006 قابل دسترسی است.

سخنرانان و عناوین سخنرانی‌ها:

کریم ایواز، دانشگاه تبریز،

Numerical solution of the nonlinear Fredholm integro-differential equations.

مریم بیگ‌محمدی، دانشگاه علم و صنعت ایران،

Kirk's fixed point theorem in the modular space.

عبدالرحمن رازانی، دانشگاه بین‌المللی امام‌خمینی و پژوهشگاه،

On the existence of periodic solutions for a class of generalized forced Liènard equations.

داود رستمی، دانشگاه بین‌المللی امام‌خمینی، قزوین،

Sigmoidal transformations for solving Cauchy singular integral equations.

سعید عباس‌بندی، دانشگاه بین‌المللی امام‌خمینی، قزوین،

On the analytic solution of cooling of a lumped system with variable specific heat.

مرتضی فتوحی، دانشگاه صنعتی شریف،

Inverse scattering theory.

سیدمهدی کریمی، دانشگاه آزاداسلامی، قائم‌شهر،

Use of cubic spline for solving conservation laws system and improving available shocks in result with use of switch automatic.

محمدرضا مختارزاده، پژوهشگاه،

Numerical solutions of the inverse ODE problems.

سیمین همائی‌پور، دانشگاه علم و صنعت ایران،

A generalization of quasi-contraction principle in the modular space.

• سمینار هفتگی ترکیبیات و محاسبه

علیرضا اشرفی، دانشگاه کاشان،

Topological indices of nonotupe.

سعید اکبری، پژوهشگاه و دانشگاه صنعتی شریف،

Rainbow cycles in complete graphs.

غلامرضا امیدی، دانشگاه صنعتی اصفهان و پژوهشگاه،

New families of graphs determined by their spectrum.

مهدی بهزاد، دانشگاه شهید بهشتی،

Dominations in graphs.

غلامرضا خسروشاهی، پژوهشگاه،

Trades: A review.

بهروز طایفه‌رضایی، پژوهشگاه،

Classification of Williamson matrices.

علیرضا عبدالهی، دانشگاه اصفهان و پژوهشگاه،

On the automorphism group of a possible symmetric 2-(81, 16, 3) design.

نرگس غرقانی، پژوهشگاه و دانشگاه تهران،

Spectral characterization of graphs with indices at most $\sqrt{2+\sqrt{5}}$.

ابراهیم قربانی، پژوهشگاه و دانشگاه صنعتی شریف،

On the inclusion matrices.

داریوش کیانی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر و پژوهشگاه،

Quadratic forms associated with graphs.

مرتضی محمدنوری، دانشگاه تهران و پژوهشگاه،

A basis of free Lie algebra using Lynden words.

حمیدرضا میمنی، پژوهشگاه و دانشگاه تهران،

Zero-divisor graphs of amalgamated duplication of a ring along an ideal.

• سمینار هفتگی نظریهٔ جبری گراف‌ها

سعید اکبری، پژوهشگاه و دانشگاه صنعتی شریف،

Some conjectures in algebraic graph theory.

غلامرضا امیدی، دانشگاه صنعتی اصفهان و پژوهشگاه،

The second largest eigenvalue of a tree.

ساناز زارع، دانشگاه صنعتی شریف،

Matching polynomials.

بهروز طایفه‌رضایی، پژوهشگاه،

A survey of graphs determined by their spectrum.

علیرضا عبدالهی، دانشگاه اصفهان و پژوهشگاه،

1-Factorization of Cayley graphs.

علیرضا علیپور، دانشگاه صنعتی شریف،

A sharp upper bound on the largest eigenvalues of the Laplacian matrix.

نرگس غرقانی، پژوهشگاه و دانشگاه تهران،

On graphs whose spectral radius is bounded by $\frac{3}{2}\sqrt{2}$.

ابراهیم قربانی، پژوهشگاه و دانشگاه صنعتی شریف،

On limit points of spectral radii of non-negative symmetric integral matrices.

علی محمدیان، پژوهشگاه و دانشگاه صنعتی شریف،

Walks and eigenvalues of graphs.

احمد محمودی، دانشگاه صنعتی شریف،

Combinatorial nullstellensatz.

اکرم محمودی، دانشگاه تربیت مدرس،

Magic graphs.

فرخ‌لقا معظمی، دانشگاه صنعتی شریف،

Star complements.

حمیدرضا میمنی، پژوهشگاه و دانشگاه تهران،

Unicyclic graphs with exactly two main eigenvalues.

• تک سخنرانی

۱۸ آبان‌ماه ۱۳۸۵

دیل هوسمولر، مؤسسهٔ ماکس پلانک، آلمان،

Three aspects of the Riemann-Roch-Grothendieck theorem.

پژوهشکدهٔ فیزیک

• دومین کارگاه بین‌المللی پلاسمای دینامیک

حسین حکیمی‌پژوه

این کارگاه از تاریخ ۲۷ آذر تا ۱ دی‌ماه ۱۳۸۵ در محل ساختمان نیاوران پژوهشگاه دانش‌های بنیادی برگزار شد. تعداد کل شرکت کنندگان ۷۳ نفر بود که از این تعداد ۸ نفر سخنرانی دو جلسه‌ای و ۱۰ نفر سخنرانی یک جلسه‌ای داشتند. همچنین در کارگاه یک بخش پوستر هم برگزار و تعداد ۱۹ پوستر ارائه شد. موضوعات ارائه شده در کارگاه:

- Magnetically confined plasma
- Waves and nonlinear dynamics
- Beam plasma interactions
- Basic plasma physics
- Plasma simulation
- Plasma surface interaction and diagnostics
- Free electron laser
- Laser plasma interactions

فایل های سخنرانی شرکت کنندگان در آدرس زیر در دسترس است:
http://physics.ipm.ac.ir/conferences/iwpd06/talks.pdf

با توجه به رضایت شرکت کنندگان از برگزاری این کارگاه و ایجاد فضایی برای تبادل نظر و بحث در مدت برگزاری کارگاه، و امکان ارتباط علمی بین شرکت کنندگان به نظر می‌رسد که این کارگاه به اهداف خود رسیده باشد. همچنین بعضی از شرکت‌کنندگان خارجی آمادگی خود را برای برقراری ارتباط بین پژوهشگاه با مراکز تحقیقاتی متبوع خود به‌منظور انجام تحقیقات مشترک، و تبادل دانشجو و استاد اعلام کردند.

برگزاری منظم چنین کارگاه‌هایی در دستور کار گروه فیزیک پلاسمای مرکز است و امیدواریم که آن را به شکل دو سالانه برگزار کنیم.

• سمینار ذرات بنیادی

سید یاسر ایازی، پژوهشگاه،

- *Impact of A_τ phase on decay of SUSY particles,*
- *The MSSM may have several complex parameters, which lead to CP violating effects.*

یاسمن فرزان، پژوهشگاه،

- *The importance of flavor in leptogenesis,*
- *Flavoring leptogenesis,*
- *μ to e γ search with polarized Muons,*
- *Linking neutrino masses and dark matter.*

گالیلئو ویولینی، دانشگاه کالابریا، ایتالیا،

Is the pentaquark the only justification for research on KN physics?

• سمینار نظریهٔ ریسمان

فرهاد اردلان، پژوهشگاه و دانشگاه صنعتی شریف،

Is $N = 8$ supergravity ultraviolet finite?

قاسم اکسیری‌فرد، پژوهشگاه،

World-Sheet corrections to space-time geometries: dyonic black holes.

علی ایمانپور، پژوهشگاه و دانشگاه تربیت مدرس،

Topological strings (I,II).

مهدی ترابیان، پژوهشگاه و دانشگاه صنعتی شریف،

- *Tachyon condensation on zero branes of IIB string theory and formation of fuzzy 3 spheres,*
- *The matrix model formulatin of string/M theory.*

محمدمهدی شیخ‌جباری، پژوهشگاه،

- *Instabilty of charged black holes,*
- *Susskind's challenge to the Hartle-Hawking no-boundary proposal and possible resolutions.*

محمدمهدی شیخ‌جباری و امیر اسماعیل مصفا، پژوهشگاه،

The 4 and 5 dimensional blackhole solutions of gauged supergravity, their stability and relevance to the attractor mechanism and AdS/CFT.

رضا فارغبال، پژوهشگاه و دانشگاه صنعتی شریف،

Double-Horizon limit and decoupling of the dynamics at the horizon.

امیراسماعیل مصفا، پژوهشگاه،

Talk about recent research interests and current topics and problems under study.

غلامرضا مکتب‌داران، پژوهشگاه،

Thermodynamic route to field equations in Lanczos-Lovelock gravity.

• سمینار پلاسما

امیر چخماچی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر،

- *Quasilinear stabilization of free electron laser instability,*
- *Quasilinear theory in FEL,*
- *Quasilinear stabilization of free electron laser instability,*

مهرناز قاسمی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر،

Parametric excitations of plasma waves.

• سمینار فیزیک مادهٔ چگال

محمدرضا بختیاری، دانشگاه SNS، ایتالیا،

Density-functional theory of spin-polarized Fermi gases in 1D optical lattices.

خسرو حسنی، دانشگاه مک گیل، کانادا،

X-ray microdiffraction techniques to study the microstructure of materials.

حامد سیدعلایی، پژوهشگاه،

Painting energy landscapes.

پیمان صاحبسرا، دانشگاه شربروک، کانادا،

Antiferromagnetism and superconductivity in layered organic conductors.

امیرعباس صبوری دودران، پژوهشگاه،

Study of electronic structure of Cu_2O by X-ray inelastic scattering.

رضا عسگری، پژوهشگاه،

- Interplay of electron-phonon interactions in Hight-Tc superconductivity,
- Recent news in condensed matter physics.

طیبه قدس‌الهی، پژوهشگاه و دانشگاه صنعتی شریف،

Preparation of nanostructure Copper/Carbon composite films and their electronic properties.

عبدالله لنگری، پژوهشگاه،

Interface effect on the universality class of spin models.

ناصر نفری، پژوهشگاه و دانشگاه صنعتی شریف،

The anatomy of High-Tc superconductors.

سید مهدی واعظ‌علایی، مرکز تحصیلات تکمیلی در علوم پایهٔ زنجان،

Wave propagation in a heterogeneous medium.

نیما همدانی‌راجا، پژوهشگاه،

Informative length scale in protein folding.

• سمینار کیهان‌شناسی

سپهر اربابی، پژوهشگاه،

- Is sun member of a stellar kinematic group? (I,II),
- Structure formation beyond linear theory (I).

سیما قاسمی، پژوهشگاه،

- Radiation and cold dark matter perturbations and the resulting CMB spectrum,
- Comments about the paper: "On horizons and the cosmic landscape",
- Inflation in the thick brane models.

رضا منصوری، پژوهشگاه و دانشگاه صنعتی‌شریف،

- Matters of gravity,
- Projects ESA-ESO, DUNE,....

ابوذر نجفی شوشتری، پژوهشگاه،

- Gravitational time delay observations,
- Review of the chapters 6 & 7 of ESA-ESO report on fundamental cosmology.

• سمینار عمومی

آریف آخوندوف، دانشگاه والنسیا، اسپانیا،

Quantum gravitational corrections to Newtonian potential.

پژوهشکدهٔ علوم شناختی

• کنفرانس

۵ـ۷ آذر ماه ۱۳۸۵

رضا شادمهر استاد دانشگاه جانز هاپکینز آمریکا به مدت ۳ روز مهمان پژوهشکدهٔ علوم شناختی بود و در طول اقامت خود کنفرانسی با عنوان یادگیری آماری و کنترل موتور (Statistical Learning & Motor Control) طی ۶ سخنرانی برگزار کرد که عناوین آنها از این قرار بود

- Learning of action and the timescales of motor memory,
- Statistical learning: mathematical background,
- Statistical learning: classical conditioning and multi-sensory integration,
- Statistical learning: timescales of memory,
- Optimal control: mathematical background,
- Stochastic optimal control: signal dependent noise and biological motor control.

۱۸ـ۲۰ آذر ماه ۱۳۸۵

احسان عرب‌زاده یکی از اعضای دانشکدهٔ فیزیولوژی دانشگاه سیدنی استرالیا، کنفرانسی با عنوان Sensory coding طی ۶ سخنرانی برگزار کرد که عناوین آنها از این قرار بود:

- Neural encoding of textures in the whisker sensory pathway (I,II),

- *Deciphering the spike train of a sensory neuron: Counts and temporal patterns,*
- *Methods in information analysis.*
- *Signal detection theory (I,II).*

• سمینار هفتگی

حسین استکی، پژوهشگاه و دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی،

Neuronal basis of face categorization.

عبدالحسین عباسیان، پژوهشگاه،

New approaches in neuromath.

احسان‌الله کبیر، دانشکده فنی دانشگاه تهران و پژوهشگاه،

Why do our computers read English better than Farsi?

کارو لوکس، دانشکدهٔ فنی دانشگاه تهران و پژوهشگاه،

Modeling emotions in decision making: achieved results.

رضا نیلی‌پور، دانشگاه علوم بهزیستی و توانبخشی و پژوهشگاه،

Towards a new functional Neuroanatomy of human language.

• تک سخنرانی

۲۸ آذرماه ۱۳۸۵

علیرضا سلطانی، دانشگاه یل، آمریکا،

- *A cortical network model of probabilistic decision-making (1): Matching behavior,*
- *A cortical network model of probabilistic decision-making (2): Bayesian inference with stochastic synapses.*

پژوهشکدهٔ علوم نانو

• برگزاری کارگاه آموزشی «مباحث شبیه‌سازی نانوساختارهای زیستی‌و پزشکی با استفاده از نرم افزار گرومکس (Gromacs)»

کارگاه آموزشی مقدماتی گرومکس با عنوان فوق در روزهای ۵ تا ۷ آذرماه سال جاری در مرکز انفورماتیک دانشکدهٔ پزشکی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی برگزار شد.

این کارگاه آموزشی با همکاری گروه فیزیک و مهندسی پزشکی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی و پژوهشکدهٔ علوم نانو ترتیب یافت. پیشنهاد برگزاری این کارگاه از طرف رئیس پژوهشکدهٔ نانو داده شد و مسؤولیت علمی و اجرایی آن برعهدهٔ این پژوهشکده بود و نیز امکانات لازم از لحاظ مکان و پذیرایی توسط گروه فیزیک و مهندسی پزشکی دانشگاه علوم پزشکی فراهم‌آورده شد.

این کارگاه با سخنرانی هاشم رفیعی تبار آغاز شد و سپس دو جلسه به ارائهٔ نظریهٔ شبیه‌سازی و ساختار نرم‌افزار و باقی جلسات به آموزش عملی نرم‌افزار اختصاص یافت.

درک ساختار سیستم‌های زیستی و نحوهٔ برهمکنش مواد در مقیاس نانو و در زمان‌های بسیار کوچک می‌تواند چرایی رخدادها و چگونگی انجام آنها را در مقیاس ماکروسکپی روشن سازد. مدرسان این دوره حمیرا امیرخانی و امیر لهراسبی و یوسف جمالی از دانشجویان دکتری پژوهشکدهٔ علوم نانو بودند.

• انتخاب رئیس پژوهشکدهٔ نانو به‌عنوان چهرهٔ ماندگار

هاشم رفیعی تبار استاد دانشگاه شهید بهشتی و رئیس پژوهشکدهٔ علوم نانو پژوهشگاه دانش‌های بنیادی، در ششمین همایش چهره‌های ماندگار که در ۲۲ آبان‌ماه سال جاری برگزار شد، به عنوان چهرهٔ ماندگار برگزیده شد. هاشم رفیعی‌تبار که در سال ۱۳۲۷ در تهران به دنیا آمده، سال‌ها رئیس بخش علوم نانو در دانشگاه کریبنج انگلستان بوده و نیز در دانشگاه‌های آکسفرد و دانشگاه توهوکوی ژاپن به تحقیق و تدریس اشتغال داشته است. وی پایه‌گذار کمیتهٔ فناوری نانو در وزارت علوم و صاحب چندین کتاب و بیش از ۵۰ مقالهٔ تحقیقاتی است و مدیریت چندین پروژهٔ بزرگ علمی در انگلستان، ژاپن، و ایران را برعهده داشته است.

• برپایی کنسرسیوم نانو به همت پژوهشکدهٔ علوم نانو و با شرکت ۱۰ مرکز دانشگاهی و پژوهشی

پژوهشکدهٔ علوم نانو در تابستان سال جاری اقدام به گردهم‌آوری متخصصان حوزه‌های مختلف علوم و فناوری نانو در قالب یک جمع کاملاً علمی کرد. هدف از این گردهمایی ایجاد یک کنسرسیوم (ائتلاف) در علوم و فناوری نانو در زمینهٔ پژوهش، محاسبه، و مآلاً طراحی و ساخت نانوسیستم‌ها با کاربرد پزشکی و صنعتی بود و به خصوص این قسمت اخیر مورد توجه ویژه قرار داشت.

در شهریورماه ۸۵ اولین نشست نسبتاً غیر رسمی این کنسرسیوم در قالب یک جمع دانشگاهی و پژوهش‌محور به دعوت رئیس پژوهشکدهٔ علوم نانو در گروه فیزیک و مهندسی پزشکی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی برگزار شد.

جلسات بعدی که حالت رسمی‌تری داشتند، در سایر مراکز عضو تشکیل شدند. پیگیری و تهیهٔ قرارداد تشکیل کنسرسیوم مسألهٔ اصلی مورد بحث در این جلسات بود. سرانجام در آذرماه ۸۵ قرارداد نهایی در ۱۳ ماده به تصویب همهٔ مراکز عضو رسید.

قرار است به زودی رؤسای مراکز عضو با دعوت دکتر زالی رئیس دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی برای امضای رسمی قرارداد کنسرسیوم گرد هم آیند.

پژوهشکدهٔ علوم کامپیوتر

• هستهٔ بیوانفورماتیک

هستهٔ بیوانفورماتیک پژوهشکدهٔ علوم کامپیوتر در آبان‌ماه ۸۵ با عضویت حداقلی از افراد علاقه‌مند که دارای چند سال تجربه در این زمینه هستند شکل گرفت. در هستهٔ بیوانفورماتیک، دو هدف دنبال خواهد شد: نخست، تلاش برای طراحی و توسعهٔ پایگاه‌های داده‌های زیستی به‌منظور ساماندهی و تسهیل دسترسی پژوهشگران به‌داده‌های جدید، و دوم، توسعهٔ ابزارها و روش‌های مفید در تحلیل داده‌ها. به‌طور خاص، در این هسته پروژه‌هایی به منظور **مقایسه و پیشگویی ساختمان سه بعدی پروتئین‌ها**، و نیز **آنالیز ژن‌ها و هاپلوتیپ‌ها** اجرا خواهد شد. توسعهٔ چنین ابزارهایی به دانش زیاد از نظریه‌های محاسباتی همراه با دانش زیست‌شناسی نیاز دارد.

بر اساس تعریف فرهنگ انگلیسی آکسفورد، بیوانفورماتیک عبارت است از: کاربرد **تکنیک‌های انفورماتیکی** برای درک و سازماندهی اطلاعات موجود در مولکول‌های زیستی در مقیاس وسیع. به بیان دیگر، بیوانفورماتیک سیستم مدیریت اطلاعات در زیست‌شناسی مولکولی است که دارای کاربردهای عملی وسیعی است.

در سال‌های اخیر حجم داده‌های زیستی با سرعت بی‌سابقه‌ای در حال افزایش بوده است. برای مثال تا فوریهٔ سال ۲۰۰۵ میلادی، اطلاعات ذخیره شده به‌صورت توالی اسیدهای نوکلئیک در GenBank (یکی از بانک‌های اطلاعاتی ژنها) بیش از ۴۵ میلیون توالی شامل ۴۹ میلیارد کاراکتر نوکلوتید و اطلاعات توالی پروتئین‌ها در پایگاه داده‌های Swiss-Prot مربوط به بیش از ۱۶۸ هزار پروتئین شامل بیش از ۶۱ میلیون اسید آمینه بود. به‌طور متوسط، مقدار اطلاعات ذخیره شده در این پایگاه داده‌ها هر پانزده ماه دو برابر می‌شود. علاوه بر آن، از هنگام انتشار نخستین ژنوم باکتری (H. influenza) تا سال ۲۰۰۵، توالی کامل ژنوم ۳ هزار موجود زنده به‌دست آمده که محتوی ۴۵۰ تا ۱۰۰ هزار ژن هستند. به این اطلاعات باید داده‌های به‌دست آمده از هزاران پروژه مرتبط بیان ژن‌ها، تعیین ساختمان پروتئین‌ها و جزئیات چگونگی برهم‌کنش انواع ماکرومولکول‌های زیستی با یکدیگر را نیز اضافه کرد و بدین ترتیب می‌توان تصویری از مقدار و نوع اطلاعات در حال تولید داشت.

برای مدیریت صحیح این نتایج و نیز استخراج اطلاعات سودمند از میان این حجم عظیم از داده‌ها لازم است متخصصان مختلف از رشته‌هایی نظیر ریاضیات کاربردی، علوم کامپیوتر و آمار، ذخیره‌سازی و پردازش این داده‌ها را برعهده بگیرند. خوشبختانه امروزه قدرت فراوری غیرقابل تصور روش‌های زیستی با توسعه در فناوری کامپیوتر همراه شده است. مهم‌ترین زمینه‌های توسعه در CPU، دیسک‌های ذخیره و اینترنت بوده است که اجازهٔ محاسبات سریع‌تر، نگهداری بهتر داده‌ها و تغییرات بنیادی در دسترسی و مبادلهٔ اطلاعات را فراهم کرده‌اند.

روش‌های بیوانفورماتیکی در آیندهٔ نزدیک قادر خواهند بود از میان انبوه اطلاعات زیستی، نتایجی کاربردی استخراج کنند. به‌عنوان مثال، بیوانفورماتیک می‌تواند در زمینهٔ شناسایی علل و نیز یافتن راه‌های درمان بیماران مورد استفاده قرار گیرد. مثلاً MLH1 یک ژن انسانی است که یک پروتئین ترمیم کنندهٔ اشتباهات (mmr) را کُد می‌کند و در کروموزوم ۳ قرار دارد. از طریق آنالیز ژنتیکی و تشابه آن با ژن‌های mmr در موش، نشان داده شده است که این ژن در سرطان رودهٔ بزرگ دخالت دارد. با داشتن توالی نوکلئوتیدی، توالی اسیدهای آمینه پروتئین کد شده را می‌توان با استفاده از نرم‌افزارهای ترجمه پیدا کرد. از روش‌های جستجوی توالی می‌توان برای پیدا کردن همولوگ‌ها در موجودات مدل آزمایشگاهی (مانند موش) استفاده کرد و بر اساس تشابه توالی می‌توان ساختمان پروتئین انسانی را از روی ساختمان‌هایی که به‌طور تجربی تعیین شده‌اند مدل‌سازی نمود. در نهایت با الگوریتم‌های docking می‌توان داروهایی را که می‌توانند به این ساختمان متصل شوند طراحی و از سنجش‌های بیوشیمیایی برای تست فعالیت زیستی آن بر روی پروتئین واقعی استفاده کرد.

هستهٔ بیوانفورماتیک پژوهشکده تلاش خواهد کرد تا با جذب استادان و به‌خصوص دانشجویان دوره‌های تحصیلات تکمیلی، علاوه بر تحقیقات بنیادی در بیوانفورماتیک زمینه‌ساز تربیت نسلی از متخصصان در این رشتهٔ جدید علمی در کشور باشد.

مجریان طرح:

مهدی صادقی، گروه بیوانفورماتیک، پژوهشگاه ملی مهندسی ژنتیک و زیست فناوری، **چنگیز اصلاحچی**، گروه ریاضی، دانشکدهٔ کامپیوتر و ریاضی، دانشگاه شهید بهشتی، **حمید پزشک**، بخش آمار، دانشکدهٔ ریاضی، آمار و علوم کامپیوتر، پردیس علوم، دانشگاه تهران، و با همکاری دانشجویان مقاطع مختلف تحصیلات تکمیلی.

پژوهشکدهٔ فلسفهٔ تحلیلی

• سمینارها و سخنرانی‌ها

امیرعلی زمانی، دانشگاه قم، *امکان سخن گفتن از خدا*.

محسن زمانی، پژوهشگاه، *دلالت بدون مدلول در اسامی خاص*.

علی صبوحی، پژوهشگاه، *معناشناسی «دوبعدی» و برهان تصورپذیری*.

امیر کرباسی‌زاده، مؤسسهٔ پژوهشی حکمت و فلسفه ایران، *مسالهٔ استقرار*.

حسین معصومی همدانی، مؤسسهٔ پژوهشی حکمت و فلسفهٔ ایران، *ماه: ابن هیثم و گالیله*.

مرتضی منیری، پژوهشکدهٔ ریاضیات پژوهشگاه، *درآمدی بر منطق اثبات‌پذیری*.

مهدی نسرین، پژوهشگاه، *آزمون تورینگ و نظریهٔ عدم اولویت زبان و تفکر*.

حمید وحید، پژوهشگاه، *شکاکیت و گونه‌های متفاوت برهان‌های استعلایی*.

IPM Cosmology School and Workshop (ICSW07)

School of Physics, IPM

(Institute for Studies in Theoretical Physics and Mathematics)

June 2 - 9, 2007

Tehran, IRAN

Lecturers

- **G. Ellis**, *U. Cape Town, South Africa*
- **E. W. Kolb**, *U. of Chicago & Enrico Fermi Inst., USA*
- **S. Sarkar**, *U. Of Oxford, UK*
- **T. Souradeep**, *IUCAA, India*
- **C. W. Stubbs**, *Harvard U., USA*

Advisory Board

- **G. Ellis**, *U. Cape Town, South Africa*
- **J. Ellis**, *CERN, Switzerland*
- **E. W. Kolb**, *U. of Chicago & Enrico Fermi Inst., USA*
- **V. Sahni**, *IUCAA, India*
- **S. Sarkar**, *U. of Oxford, UK*
- **D. J. Schwarz**, *U. Bielefeld, Germany*
- **C. W. Stubbs**, *Harvard U., USA*

Organizers

- **Robert Brandenberger**, *McGill U., Canada*
- **Reza Mansouri**, *IPM & SUT, Iran*
- **Sohrab Rahvar**, *IPM & SUT, Iran*

Sponsors

- **ICTP** (International Center for Theoretical Physics)

Topics

- Observational evidences of dark energy
- Non-homogenous cosmological models
- Structure formation in dark energy
- Back reaction on the cosmological perturbation
- Modified dynamics and gravity

Deadline for application: March 15th, 2007

More information and online registration form can be found at:
http://physics.ipm.ac.ir/conferences/icsw07

The total fee including full board and lodging is US$300. A limited number of grants for local expenses and travel fare, in particular for participants from developing countries, are available.

IPM Cosmology School & Workshop
IPM, P .O. Box 19395-5531,Tehran, Iran
E-mail: icsw@theory.ipm.ac.ir
Tel: +98 (21) 22 29 09 34, 22 28 06 92 Fax: +98 (21) 22 28 04 15

P.O.Box: 19395-5746, Tehran, IRAN
Phone: (+98 21) 22290928
Fax: (+98 21) 22290648
E-mail: ipmic@ipm.ir
www.ipm.ac.ir

IPM

Institute for Studies in Theoretical Physics and Mathematics

صاحب امتیاز پژوهشگاه دانشهای بنیادی
(مرکز تحقیقات فیزیک نظری و ریاضیات)

مدیر مسؤول غلامرضا خسروشاهی

ویراستار سیامک کاظمی
مشاور عالیه ارفعی
مشاور فنی عباس اسلامی
مدیر فنی عاطفه پارسا
حروفچینی و صفحه‌آرایی TeXپارسی آناهیتا سمیع
همکار فنی چاپ خواجه

اخبار، نشریهٔ خبری پژوهشگاه دانشهای بنیادی، در پایان هر فصل منتشر می‌شود. آراء مندرج در اخبار (مگر در مورد سرمقاله) لزوماً مبین نظر رسمی پژوهشگاه نیست. نقل مطالب بدون ذکر مأخذ ممنوع است.

نشانی مرکز اطلاع‌رسانی
پژوهشگاه دانشهای بنیادی
(مرکز تحقیقات فیزیک نظری و ریاضیات)
تهران - میدان شهید باهنر،
صندوق پستی ۱۹۳۹۵-۵۷۴۶
تلفن ۲۲۲۸۷۰۱۳،۴