

Пракса студената Математичког факултета на
Институту за физику у Београду за школску 2022-2023 годину

ПОНУЂЕНЕ ТЕМЕ

1. Руководилац: др Игор Прлина

Број студената: 1

Тема: "Геометријске структуре у амплитудама расејања: амплитухедрон и асоцијахедрон"

Амплитуде расејања описују процесе у квантној теорији поља. Оне имају богату аналитичку структуру која се већ дуго активно проучава. У скорије време, у посебним теоријама поља, пронађене су геометријске структуре базиране на концепту позитивности, које директно дају диференцијалну форму која одговара амплитуди, без употребе стандардне процедуре квантне теорије поља. Две најзначајније такве структуре су "амплитухедрон" у $N=4$ Супер Јанг-Милс теорији и асоцијахедрон у биадјунгованој кубичној скаларној теорији поља. Ове структуре повезују различите области и појмове математике, као што су линеарна алгебра, теорија група, комплексна анализа, диференцијална геометрија, пројективни простори, комбинаторика и многе друге. Током ове праксе студенти математике би се упознали са аспектима ових математичких области који су битни за физичаре у пољу амплитуда расејања као и отвореним математичким проблемима чије би решење довело до нових резултата битних у овој грани физике.

2. Руководилац: др Игор Салом

Број студената: 1

Тема: "Квантни интегрални (решиви) системи - алгебарски Бете анзац и Гаудин алгебре"

Физички системи које је могуће аналитички решити (наћи "интеграле" кретања) су веома ретки, поготово у квантној физици. Модерне методе су базиране на специфичним алгебарским техникама од којих је једна тзв. алгебарски Бете анзац, који ми користимо у контексту Хајзенбергових спинских ланаца и одговарајућих Гаудин модела. Ова тема је на самој граници између математике и физике, чак се често сврстава у математику. Рад на овој теми подразумевао би комбинацију теоријско-алгебарских прорачуна и учења/напредног коришћења софтвера за симболичко рачунање (Wolfram Mathematica/Maple) који су изузетно корисна алатка за решавање оваквих проблема. Евентуална успешна сарадња током праксе отворила би и могућност каснијег доктората у Лисабону и/или сарадње са Универзитетом у Алгарвеу (Португал).

3. Руководилац: др Марко Војиновић

Број студената: није ограничен

Тема: "Развој софтверског пакета за нумеричку алгебарску топологију"

У контексту једног приступа квантној гравитацији, разматрају се D -димензионалне многострукости које су део-по-део равне, репрезентоване симплицијалним комплексима (триангулације). За нумеричко решавање разних проблема, како из квантне гравитације тако и из алгебарске топологије уопште, у развоју је софтверски пакет [1] који има за циљ да имплементира разне врсте манипулација и функција над симплицијалним комплексима. Има много конкретних задатака: пројектовање комплекса на $2D$ раван (и цртање на екрану), рачунање геометријских особина комплекса на основу задатих дужина ивица (површине, запремине, углови, кривина, торзија,...), евалуација функција над комплексом (нпр. рачунање тополошких инваријанти попут Тураев-Виро инваријанте и сл.), паралелизација свих ових алгоритама за рачунање на кластерима рачунара (користећи МПИ инфраструктуру), итд. Више студената може да се укључи у рад. Потребно предзнање: C++, интуиција за D -димензионалне геометрије ($D \geq 4$), елементарно разумевање алгебарске топологије и диференцијалне геометрије. Пракса је везана за пројект QGHG-2021 (програм Идеје) Фонда за науку [2], број студената који могу да се укључе није ограничен.

[1] <https://github.com/vvmarko/triangulator/blob/main/README.md>

[2] <http://www.qghg-2021.ipb.ac.rs/>

4. Руководилац: др Бранислав Цветковић

Број студената: 1

Тема: "Хамилтонова динамика система са везама"

Тема стандардних курсева теоријске механике је Лагранжев и Хамилтонов опис механике система са везама, које не зависне од брзина. Велики број релевантних физичких модела не спада у ову класу. У оквиру стручне праксе студент ће се упознати са Дираковим описом Хамилтонове структуре механичких система са нехолономним везама са акцентом на класификацију веза као и на одређивање броја степени слободе у фазном простору. Биће обрађена и Кастеланијева процедура за конструкцију генератора нефизичких трансформација. Евентуална успешна сарадња наставила би се кроз Хамилтонову анализу тзв. "minisuperspace" модела који служе за класификацију егзактних решења у оквиру теорија гравитације. Пожељно је, али не и обавезно извесно предзнање из Теоријске механике.

5. Руководилац: др Марија Митровић Данкулов

Број студената: 1

Тема: "Анализа динамике структуре мреже интеракција у српској Твитер заједници са акцентом на теме твитова"

Твитер је једна од најпопуларнијих онлине заједница у свету а и у Србији. План је да се током праксе студент упозна са методима теорије комплексних мрежа и алатима из рачунарских наука који дозвољавају екстракцију информација из текста. Циљ је да се комбиновањем ових алата анализира један мањи део српске Твитер заједнице и проучи како структура и еволуција мреже интеракција зависе од тема око којих се заједница окупља. Студент ће током праксе научити како да селекује и сакупи податке са Твитера, како да податке мапира на мрежу и анализира њену структуру, као и како да из текстова извуче теме. Идеја је да се кроз практичан пројекат науче неке основе истраживачког рада: како поставити истраживачко питање, како одабрати методологију, како спровести истраживање и интерпретирати резултате. Истраживачка тема је део једне шире научно истраживачке теме у оквиру групе која се бави физиком социо-економских система у Лабораторији за примену рачунара у науци.

6. Руководилац: др Вељко Јанковић

Број студената: 1

Тема: "Нумеричке нестабилности хијерархијских једначина кретања за отворене квантне системе"

За разлику од изолованих квантних система, отворени квантни системи интерагују са средином размењујући енергију, честице или информацију. Проучавање динамике система од интереса, која се добија интеграцијом по степенима слободе средине, је нарочито изазовно када је интеракција са средином јака или су степени слободе средине спори. У том случају, хијерархијске једначине кретања (систем линеарних диференцијалних једначина првог реда са константним коефицијентима) дају жељену динамику, али се најчешће примењују када је средина континуална (тзв. резервоар). Подстакнути Холштајновим моделом, у којем се проучава кретање једног електрона који интерагује са дискретном средином, недавно смо формулисали хијерархијске једначине кретања за дискретну средину. Међутим, у извесним режимима параметара, наишли смо на нумеричке нестабилности приликом пропагације хијерархијских једначина. Током праксе бисмо, на примерима Холштајновог димера и тримера, желели да разумемо порекло нумеричких нестабилности и да их отклонимо. Нумерички бисмо решавали својствени проблем матрице система и изоловали бисмо делове спектра који производе нестабилности. Проучавали бисмо како ти делови спектра зависе од параметара модела и величине хијерархије. Испитивали бисмо да ли динамика система након изостављања нестабилних делова спектра предвиђа равнотежну расподелу у дуговременском лимесу. Испитивали бисмо да ли физички мотивисана трансформација

дискретне у континулану средину отклања нестабилне делове спектра матрице система. Пракса би подразумевала интензивно коришћење неког од програмских алата за нумеричку линеарну алгебру (нпр. LAPACK, `numpy.linalg`, `scipy.linalg`). Кључне речи: систем линеарних диференцијалних једначина првог реда са константним коефицијентима, нумеричко решавање својственог проблема матрице.

7. Руководилац: др Михаило Чубровић

Број студената: 1

Тема: "Пикар-Весио теорија и класично интеграбилни системи у теорији струна"

Интеграбилност је важан концепт не само у математици већ и у физици, због везе са законима одржања (Нетер теореме) и због могућности да се једначине кретања реше и детаљно проуче. За разлику од механике, у теорији поља и струна знамо релативно мало интеграбилних а физички релевантних система [1]. Циљ пројекта је да се, полазећи од основних резултата Пикар-Весио теорије [2], проучи интеграбилност струна (линеарних објеката који, по неким индицијама, преносе све познате интеракције у природи) у разним геометријама [3,4,5]. Проучићемо пре свега случајеве који се могу свести на хомогене линеарне једначине, где се може применити Ковачићев алгоритам [6]. Посебан бонус је ако успемо да обрнемо проблем, тј. да формулишемо неке услове које геометрија (метрика) треба да задовољи, да систем буде интеграбилан.

Важно: За ову тему је неопходно да студент одслуша бар део неформалног курса/семинара из основа теорије струна (сваки четвртак 19:00, online преко Скајпа). Стога је веома пожељно да се почне што пре – у супротном биће тешко надокнадити пропуштено.

Предзнање: основи аналитичког формализма у физици (лангранжијани, Ојлер-Лагранжеве једначине); основи теорије диференцијалних једначина и теорије група. Предзнање из диференцијалне алгебре је плус, али није неопходно. Искуство у раду са окружењем Mathematica је пожељно, мада се може стећи и у току праксе.

С обзиром на редовне обавезе студената (предавања, испити) и ограниченост на један семестар, пракса би била углавном едукативног карактера (читање литературе, дискусије, решавање неких познатих случајева за вежбу), уз минималну истраживачку компоненту. Међутим, ако све прође добро, постоји могућност да овогодишња пракса буде темељ за мастер рад наредне школске године.

[1] N. Beisert et al, Review of AdS/CFT Integrability: An Overview [arXiv:1012.3982 [hep-th]]

[2] J. J. Kovacic (2005), Picard–Vessiot theory, algebraic groups and group schemes

[3] P. Basu and L. A. Pando Zayas, Analytic Non-integrability in String Theory

[arXiv:1105.2540 [hep-th]]

[4] A. Stepanchuk and A. A. Tseytlin, On (non)integrability of classical strings in p- brane backgrounds [arXiv:1211.3727 [hep-th]]

[5] Y. Chervonyi and O. Lunin, (Non)-integrability of geodesics in D-brane backgrounds [arXiv:1311.1521 [hep-th]]

[6] J. J. Kovacic, An algorithm for solving second order linear homogeneous differential equations, J. Symbolic Computation 2, 3-43 (1986).

8. Руководиоци: др Саша Дујко, др Данко Бошњаковић, др Илија Симоновић (Лабораторија за неравнотежне процесе и примену плазме)

Број студената: 1

Тема: "Сударни и транспортни процеси наелектрисаних честица у гасовима и софт-кондензованој материји"

Методологија: Стохастичке Монте Карло симулације, интегро-диференцијалне једначине, парцијалне диференцијалне једначине, системи нелинеарних једначина.

Рачунарски ресурси: Мултипроцесорски системи и кластер високих перформанси.

Разумевање сударних и транспортних особина електрона и јона у гасовима и софт-кондензованој материји је први и основни корак у моделовању неравнотежних плазми. Неравнотежне плазме настају у електричним пражњењима и имају велики број апликација у примењеној физици и савременој технологији. У природи, ове плазме се манифестују у електричним муњама и транзијентним електричним пражњењима у планетарним атмосферама. Студенти ће имати прилику да се упознају са основним процедурама in-house компјутерских кодова базираних на Монте Карло методи и временски разложеној multi-term теорији за нумеричко решавање Болцманове једначине. Болцманова једначина је интегро-диференцијална једначина чија се нумеричка решења у физици плазме могу добити у оквиру моментне методе, која је заснована на алгебри иредуцибилних сферних тензора. Уколико буду заинтересовани, студенти ће имати прилику да асистирају на решавању конкретних проблема као што су математичко моделирање експеримената и оптимизација и развој алгоритама за нумеричку интеграцију колизионих интеграла којима је описана интеракција наелектрисаних честица и молекула средине, укључујући и разматрање интеракције антиматерије и материје. У оквиру флуидних модела за транспорт наелектрисаних честица, студенти ће имати прилику да дају свој допринос развоју теорије преноса импулса за лаке наелектрисане честице у софт-кондензованој материји, асистирајући у развоју методологије за решавање система нелинеарних једначина. Студенти ће имати прилику да стекну знање и искуство у раду са мултипроцесорским системима и кластерима високих перформанси. То подразумева софтверске алате на Linuxу x86-64 платформи укључујући и основне кораке при превођењу, пуштању и обради резултата нумеричких кодова.

**9. Руководиоци: др Саша Дујко, др Данко Бошњаковић, др Илија Симоновић
(Лабораторија за неравнотежне процесе и примену плазме)**

Број студената: 1

Тема: "Симулације стримера у гасовима и софт-кондензованој материји"

Методологија: Парцијалне диференцијалне једначине, мулти-грид метода, стохастичке particle-in-cell/Монте Карло симулације, комплексни динамички системи. Рачунарски ресурси: Мултипроцесорски системи и кластер високих перформанси.

Стримери су фундаменталан феномен у физици плазме и основни мод за пробој у гасу на високом притиску и великим запреминама. Они су прекурсори електричних муња и транзијентних плазми у средњим и вишим слојевима планетарних атмосфера као и катализатори за синтезу органских молекула. Ради се о нелинераном, нестационарном, нелокалном и нехидродинамичком феномену плазме чије моделовање захтева напредно мулти-скалирајуће нумеричко моделовање. Студенти ће имати прилику да усаврше своје вештине и знања асистирајући у развоју методологије за нумеричко решавање парцијалних диференцијалних једначина чија решења описују баланс концентрације наелектрисаних честица, њиховог импулса и енергије. Поред in-house кодова за решавање ових једначина у 1 димензији и 1.5 димензији, студенти ће имати прилику да асистирају у развоју комплексног кода у AMReX C++ софтверском окружењу са имплементираним блок-структурираним адаптивном мрежом за решавање парцијалних диференцијалних једначина у 2Д и 3Д. У оквиру овог истраживања, студенти ће имати прилику да се упознају са мулти-грид техником за решавање парцијалних диференцијалних једначина и основама Particle-In-Cell/Монте Карло стохастичких симулација. Студенти могу да асистирају у изградњи ове математичке машинерије и моделовању стримерских пражњења у планетарним атмосферама, укључујући и атмосфере егзо-планета. Уколико су више заинтересовани за моделовање детектора честица високих енергија који имају важну улогу у експериментима у ЦЕРНу, или других уређаја који функционишу на принципима електричних гасних пражњења, могу се укључити у наше активности решавајући конкретне проблеме са фронта савремене кинетичке теорије плазме и сродних дисциплина.

10. Руководилац: др Марија Радмиловић-Рађеновић

Број студената: 1

Тема: "Моделовање микроталасне аблације тумора"

Модел за симулацију микроталасне аблације туморалног ткива се састоје од три основне компоненте. Прва компонента је модел антенске сонде (или апликатора) која генерише микроталасно поље у ткиву. Друга компонента описује дистрибуцију топлоте у биолошком ткиву, док се трећа бави дејством топлоте на туморске ћелије и њиховим уништавањем. Све набројане компоненте модела аблације зависе од стања ткива које је окарактерисано различитим параметрима (диелектричним својствима, перфурзијом крви, евапорацијом воде, итд.). У оквиру ове теме, циљ је развијање тродимензионалног (ЗД) модела микроталасне аблације тумора користећи програмски пакет базиран на ЗД методи коначних елемената (ФЕМ) за решавање спрегнутих једначина електромагнетног поља и преноса топлоте. Модел би укључивао све детаље везане за дизајн микроталасне антене, као и промену диелектричних својстава циљаног ткива током микроталасне аблације.

11. Руководилац: др Никола Бошковић

Број студената: 2

Тема: "Генерисање тродимензионалног модела и меширања за потребе симулације методом коначних елемената коришћењем отвореног кода"

Gmsh је најпознатији алат отвореног кода за тродимензионално меширање који се широко користи у образованим институцијама и индустрији. Геометрија може бити описана преко простог Gmsh језика, или преко Gmsh API-а, у неком од следећих језика C, C++, Python, или Julia. Gmsh поседује уграђен OpenCascade модул преко кога је могуће директно увозити, извозити и манипулисати ЗД моделима из неких других извора. 1Д, 2Д и 3Д меширање за методу коначних елемената може бити генерисано са фином контролом меширања у сваком делу структуре. Меширање може бити глобално дефинисано, као и хибридно где је меширање дела структуре директно уређено, и комбиновано са остатком структуре преко слоја пирамида. Делови структуре могу бити уређени у одговарајуће физичке зоне различитих физичких карактеристика, које се даље користе за симулацију у методи коначних елемената. Током ове праксе студенти математике би се упознали са радом у Gmsh језику као и доступним графичким интерфејсом који се може паралелно користити, као и припремом реалног ЗД модела за симулацију методом коначних елемената.

12. Руководилац: др Александра Коларски

Број студената: 2

Тема: "Мониторинг одзива јоносферске плазме на утицај узрочника астро- и геопорекла"

У оквиру теоријског дела праксе студенти ће у општим цртама бити упознати са теоријским основама и основним принципима радио-пропагације VLF (Very Low Frequency; 3-30 kHz) сигнала таласоводом Земља-јоносфера, општим карактеристикама дневне и ноћне јоносфере, као и са најважнијим појмовима космичке климе и процесима соларно-терестричких интеракција. Такође, у општим цртама биће упознати са основним принципима аквизиције, обраде и интерпретације VLF података у условима мирне и поремећене средњеширинске ниске јоносфере. На тај начин студенти ће стећи основна знања потребна за практични део праксе.

У оквиру практичног дела праксе студенти ће у општим цртама бити упознати са применом специјализованих софтверских пакета за моделирање радио-пропагације VLF сигнала и одзива јоносферске плазме на утицаје бројних и разноврсних узрочника екстратерестичког и терестичког порекла. Нумеричке симулације спроводиће се на унапред припремљеним и за ове потребе прилагођеним сетовима VLF података, који покривају широк опсег различитих типова јоносферских пертурбација изазваних соларним X-флеровима, γ -бљесковима, хазардима терестричког порекла и др. На тај начин студенти ће у обиму примереном за сврхе студентске праксе стећи основна знања потребна за препознавање и разликовање различитих типова јоносферских пертурбација и основне практичне вештине потребне за примену специјализованих софтверских пакета који се користе за моделирање одзива ниске јоносфере.