

## فصل مقدمه

این سند، نقشه راه توسعه پروژه UQGPF را با تمرکز بر گانت چارت پروژه ارائه می‌کند. هدف اصلی پروژه UQGPF، مدل‌سازی جامع فیزیک کوانتوم گرانشی-کوانتومی برای میدان‌های کیهانی و آزمایش آن با داده‌های واقعی و تجربی است. این نقشه راه به تفصیل فازها، فعالیت‌ها، مدت زمان تقریبی هر فعالیت، وابستگی‌های منطقی و نحوه هم‌زمان‌سازی فازها را تشریح می‌کند تا تیم‌های پژوهشی بتوانند منابع، مراحل پذیرش و نقاط کنترل را به دقت مدیریت کنند.

## سازماندهی پروژه

- مدیر پروژه: مسئولیت عمومی، مدیریت ریسک، ارتباط با ذی‌نفعان، و گزارش‌دهی به مقامات علمی و مالی.
- تیم‌های فنی: فازهای مختلف با تیم‌های تخصصی در دیتا و مدل‌سازی، کدنویسی، شبیه‌سازی، تحلیل داده و اعتبارسنجی.
- تیم‌های همکاری بین‌المللی: LiteBIRD، PIXIE، CMB-S4 و سایر پروژه‌های مرتبط برای هماهنگی داده‌ها و تحلیل‌ها.
- تیم انتشار و اعتبارسنجی علمی: انتشار مقالات و گزارش‌های پیش‌انتشار، تهیه مستندات GitHub و استانداردهای بررسی همکارانه.

## هدف‌های کلان

- اتصال مدل به داده‌های واقعی با استفاده از داده‌های Planck 2018 و DES، با استفاده از روش‌های MCMC برای استخراج پارامترها و عدم قطعیت‌ها.
- بهبود کد propulsion و زیرساخت شبیه‌سازی با استفاده از استانداردهای پیشرو در صنعت، بهره‌گیری از کتابخانه‌های Cobaya، CLASS، Astropy.
- بررسی تجربی با طراحی تحلیل موج‌شناسی-نوترینویی و شبیه‌سازی برخورد هاله‌های آکسیونی برای مقایسه با داده‌های گرانشی مانند LIGO/Virgo/KAGRA.
- انتشار و اعتبارسنجی علمی با پیش‌انتشار در arXiv و مستندسازی کامل در GitHub، برای تضمین شفافیت علمی و قابلیت بازتولید.
- توسعه نظری بلندمدت با هدف ایجاد فریمورک UQCMF و اتصال به مدل استاندارد ذرات و مفاهیم مفهومی MultiUniverse/UltraLight.

فاز ۱ – اتصال مدل به داده واقعی (ماه ۰-۱۲)

هدف فاز ۱: - ایجاد و فیت مدل به داده‌های Planck 2018 و DES با استفاده از روش‌های MCMC برای استخراج پارامترهای کلیدی، احتمال و توزیع‌های پس-احتمالی. - پیاده‌سازی محاسبه طیف CMB با استفاده از کد lamda correction 4.py.6 و مقایسه با داده‌های Planck، برای ارزیابی صحت مدل و تطبیق با داده‌های مشاهده‌ای. - آزمون شعاع هسته آکسیونی با داده SPARC/Gaia برای ارزیابی اثرات میدان‌های آکسیونی بر ساختار، به ویژه اندازه‌شناسی شعاع و شیب شعاعی از داده‌های ماهواره‌ای و نجومی.

فعالیت‌های کلیدی فاز ۱: (1) آماده‌سازی داده‌ها - دانلود داده Planck 2018 (ملی: TT, TE, EE, کامیونیتی پلاگین‌های آن‌ها) - دسترسی به دیتاست DES مناسب برای هم‌ارزیابی با Planck - آماده‌سازی داده‌های SPARC و Gaia برای آزمون شعاع هسته آکسیونی - پیاده‌سازی پروسه پیش‌پردازش: برداشتن نویز، هم‌آهنگی آرا، قفل‌گذاری واحدهای مقیاسی، و تبدیل واحدها

(2) پیاده‌سازی فیت با داده Planck 2018 و DES با استفاده از MCMC - تعریف مدل فیزیکی UQGPf متناسب با داده‌ها - تعیین priors مناسب برای پارامترهای کلیدی - پیاده‌سازی چارچوب MCMC: استفاده از Cobaya یا PyMultiNest یا emcee با قابلیت‌های ژنرال - اجرای آزمایشی برای اندازه‌گیری همپوشانی و همگرایی زنجیره‌ها - ارزیابی تشخیص همگرایی از طریق The Gelman-Rubin statistic و تحلیل رفتار زنجیره

(3) محاسبه طیف CMB از کد lamda correction 4.py.6 و مقایسه با Planck - اجرای کد lamda correction 4.py.6 برای استخراج طیف‌های CMB - مقایسه با داده Planck با استفاده از شاخص‌های همگرایی و فواصل طیفی - ارزیابی خطاها و تفاوت‌های پدیده‌ای

(4) آزمون شعاع هسته آکسیونی با SPARC/Gaia - طراحی مدل شعاع هسته آکسیونی با پارامترهای ورودی محدوده‌های تحدیدی - مقایسه با مشاهدات اسپاشی SPARC و داده Gaia برای ارزیابی تضادهای ممکن - تحلیل حساسیت و محدودیت‌های داده‌ها

(5) مستندسازی و گزارش‌نویسی - ایجاد گزارش‌های مرحله‌ای با نمایش گانت چارت، نمودارهای همپوشانی با Planck و DES - مستندسازی کدها، ورودی‌ها و خروجی‌ها - آماده‌سازی نسخه اولیه برای انتشار در پیش‌نویس داخلی

جهت‌گیری‌های فنی فاز ۱: - استفاده از کتابخانه‌های استاندارد علمی: numpy, scipy, matplotlib, astropy - نگارش کد با استانداردهای قابل بازتولید، با استفاده از git و نسخه‌بندی دقیق - پیاده‌سازی تست‌های واحد و یکپارچگی برای اجزای اصلی مدل و کدهای محاسباتی - بررسی حساسیت پارامترها و تحلیل عدم قطعیت‌ها

ورودی‌ها و خروجی‌های فاز ۱: - ورودی: داده Planck 2018، DES، SPARC، Gaia، کد lamda correction 4.py.6 - خروجی: پارامترهای فیت شده با توزیع‌های پس-احتمالی، طیف CMB مقایسه‌شده با Planck، نمودارهای مقایسه با SPARC/Gaia

فاز ۲ - ارتقاء کد و زیرساخت شبیه‌سازی (ماه ۱۲-۱۸)

هدف فاز ۲: - بازنویسی کدها با Astropy/CLASS/Cobaya برای افزایش کارایی و استانداردسازی - افزودن  $\Lambda(a)$  و ترم برهم‌کنش در مدل - اجرای محاسبات پارالل برای اسکن پارامترها به منظور افزایش کارایی و کاهش زمان محاسبه

فعالیت‌های کلیدی فاز ۲: ۱) بازنویسی کدها با Astropy/CLASS/Cobaya - طراحی معماری ماژولار برای مدل UQGPF با جداسازی منطق فیزیکی، داده‌ها و کنترل جریان - جایگذاری توابع محاسباتی با استفاده از کلاس‌ها/توابع Astropy برای مدیریت واحدها - استفاده از CLASS برای محاسبه طیف‌های پایه و گراف‌های مرتبط با CMB - ادغام Cobaya برای مدیریت فصول مونت کارلو و جستجو پارامترها

۲) افزودن  $\Lambda(a)$  و ترم برهم‌کنش - تعریف تابع  $\Lambda(a)$  با مقادیر اولیه و محدودیت‌های مطلوب - افزودن ترم‌های برهم‌کنش (مثلاً تعامل بین ماده/شیء و میدان آکسیونی) - به‌روز رسانی معادلات دیفرانسیل و به‌کارگیری روش‌های عددی پایدار برای حل

۳) اجرای محاسبات پارالل برای اسکن پارامترها - پیاده‌سازی Parallel Computing با استفاده از multiprocessing یا joblib - ایجاد ساختار توزیعی برای اجرای چندین زنجیره MCMC به طور هم‌زمان - مدیریت منابع محاسباتی و بهینه‌سازی تخصیص CPU/GPU - بهره‌گیری از فناوری‌های HPC در صورت وجود دسترسی

۴) تست و اعتبارسنجی کدها - انجام تست‌های واحد برای توابع جدید - مقایسه نتایج با نتایج فاز ۱ برای ارزیابی همگرایی تفاوت‌ها - تحلیل حساسیت پارامترهای کلیدی  $\Lambda(a)$  و ترم هم‌اثر

۵) مستندسازی و گزارش‌نویسی - به‌روزرسانی مستندات با استفاده از Docstring و notebookها - نگارش یک گزارش فنی برای مقایسه با فاز ۱ و ارائه در پیش‌انتشار - حفظ نسخه‌های مناسب از کدها در Git

ورودی‌ها و خروجی‌های فاز ۲: - ورودی: داده SPARC/Gaia، DES، Planck 2018 برای مقایسه، کد lamda correction 4.py.6 (یا معادل جدید)، کتابخانه‌های Astropy، CLASS، Cobaya - خروجی: کدی که با Astropy/CLASS/Cobaya کار می‌کند، مدل  $\Lambda(a)$  و ترم هم‌اثر، فهرست محاسبات پارالل و نتایج مقایسه با فاز ۱

فاز ۳ - مسیر آزمون تجربی (سال ۲-۵)

هدف فاز ۳: - همکاری با تیم‌های LiteBIRD، PIXIE، CMB-S4 برای تبادل داده‌ها و دانش فنی - طراحی تحلیل موج‌گرانی-نوترینویی برای بررسی تداخل موج-نوترینویی در گام‌های کژوال - انجام شبیه‌سازی برخورد هاله‌های آکسیونی و مقایسه با داده‌های LIGO/Virgo/KAGRA برای اعتبارسنجی تجربی

فعالیت‌های کلیدی فاز ۳: 1) همکاری با تیم‌های CMB-S4، PIXIE، LiteBIRD - ایجاد کانال‌های ارتباطی منظم (جلسات/کال‌های مشترک) - تبادل نیازهای داده‌ای، فرمت‌های ورودی، استانداردهای اطمینان داده - تعیین محورهای عملیاتی برای آزمایش‌های مشترک

2) طراحی تحلیل موج‌گرانشی-نوترینو - تعریف شاخص‌های موج‌گرانشی مربوط به اثرات آکسیونی در سیگنال‌های موج-نوترینویی - توسعه روش‌های استخراج سیگنال از داده‌های تجربی و شبیه‌سازی شده - ارزیابی حساسیت و محدودیت‌های داده‌های آزمایشی - استفاده از داده‌های فعلی گرانشی برای اعتبارسنجی

3) شبیه‌سازی برخورد هاله‌های آکسیونی و مقایسه با داده LIGO/Virgo/KAGRA - ایجاد مدل برخورد هاله‌های آکسیونی با پارامترهای ورودی - اجرای شبیه‌سازی‌های پیچیده برای تولید نویز و سیگنال - مقایسه با داده‌های LIGO/Virgo/KAGRA برای ارزیابی صحت موج‌گرایی - تحلیل آستانه تشخیص و احتمال وجود اثرات آکسیونی

4) همکاری با جامعه پژوهشی برای بهبود داده‌ها و تحلیل‌ها - اشتراک‌گذاری نتایج و ابزارها با تیم‌های دیگر - شرکت در همایش‌ها و ارائه مقالات اولیه

5) مستندسازی و گزارش‌نویسی - گزارش‌های منظم در قالب notebooks و مقالات - به‌روزرسانی صفحات GitHub با توضیحات دقیق و نمونه‌های قابل اجرا

ورودی‌ها و خروجی‌های فاز ۳: - ورودی: داده‌های همکاری CMB-S4، PIXIE، LiteBIRD، داده‌های موج‌گرانی-نوترینویی، داده‌های LIGO/Virgo/KAGRA - خروجی: پروتکل‌های تحلیل موج‌گرانشی-نوترینویی، مدل شبیه‌سازی‌های برخورد آکسیونی، نتایج مقایسه با داده‌های گرانش

فاز ۴ - انتشار و اعتبارسنجی علمی (همزمان با فازهای دیگر)

هدف فاز ۴: - انتشار نسخه پیش‌انتشار (preprint) در arXiv برای دسترسی سریع و بازخورد جامعه - مستندسازی کامل هر جزء پروژه و کدها در GitHub برای بازتولید - ارائه گزارش‌های معتبر به مجلات و کنفرانس‌های علمی - ایجاد مستندات توسعه‌ای برای اعتبارسنجی و بازتولید

فعالیت‌های کلیدی فاز ۴: 1) آماده‌سازی نسخه پیش‌انتشار در arXiv - نگارش دقیق مقاله با بخش‌های مقدمه، روش‌ها، داده‌ها، نتایج، بحث و نتیجه‌گیری - درج نمودارها، جداول، و ضمایم لازم - توجه به استانداردهای arXiv و مقالات مرتبط

2) مستندسازی کامل GitHub - سازماندهی مخزن با ساختار واضح (docs، src، notebooks، data) - اضافه کردن راهنمای نصب، اجرای نمونه‌ها، و نحوه اجرای تست‌ها - ثبت مسائل (issues) و درخواست‌های بازنگری (pull requests) برای فرآیند بازتولید

3) اعتبارسنجی علمی و بازخورد - ارسال به کنفرانس‌ها و مجلات برای بازبینی همکارانه - پاسخ به دیدگاه‌ها و بازنگری‌های داوران - به‌روزرسانی مستندات با بازخوردهای دریافت‌شده

4) ارتباط با جامعه پژوهشی - انتشار پست‌های بلاگ و گزارشات کوتاه برای اطلاع‌رسانی به جامعه - شرکت در جلسات جامعه برای تبادل تجربیات و ابزارها

5) مدیریت داده و حقوق - رعایت حقوق مالکیت معنوی و مجوزهای مربوط به داده‌ها و کد - حفظ حریم کاربری و داده‌های حساس با سیاست‌های مناسب

ورودی‌ها و خروجی‌های فاز ۴: - ورودی: نسخه‌های فنی فاز ۱ تا ۳، داده‌های به‌روزشده، کدها با مستندات - خروجی: نسخه پیش‌انتشار arXiv، مخزن GitHub با مستندات کامل، گزارش‌های اعتبارسنجی

فاز ۵ - توسعه نظری بلندمدت (سال 5-10)

هدف فاز ۵: - توسعه کامل UQCMF (UQ Gravity-CMB-Matter Framework) برای مدل‌سازی جامع - اتصال به مدل استاندارد ذرات و بررسی سازگاری با فریمورک‌های فیزیک بنیادی - طراحی آزمایش مفهومی MultiUniverse/UtraLight برای پژوهش‌های آینده

فعالیت‌های کلیدی فاز ۵: 1) توسعه کامل UQCMF - ساختار ماژولار برای گام‌های مختلف: مدل‌سازی، داده‌ها، تحلیل، و اعتبارسنجی - بهبود کارایی و قابلیت گسترش با استفاده از ابزارهای مدرن - پشتیبانی از توابع برای تحلیل جستجو پارامترها و بررسی پاسخ

2) اتصال به مدل استاندارد ذرات - بررسی همخوانی با مدل استاندارد و احتمالات فیزیک بنیادی - بررسی اثرات جدید یا فشارهای تجربی تازه

3) طراحی آزمایش مفهومی MultiUniverse/UtraLight - ارائه طرح برای آزمایش مفهومی که به بررسی جهان‌های متعددی از نظر فیزیک بنیادی می‌پردازد - ترسیم سناریوهای آزمایشی، ابزارها، و منابع مورد نیاز

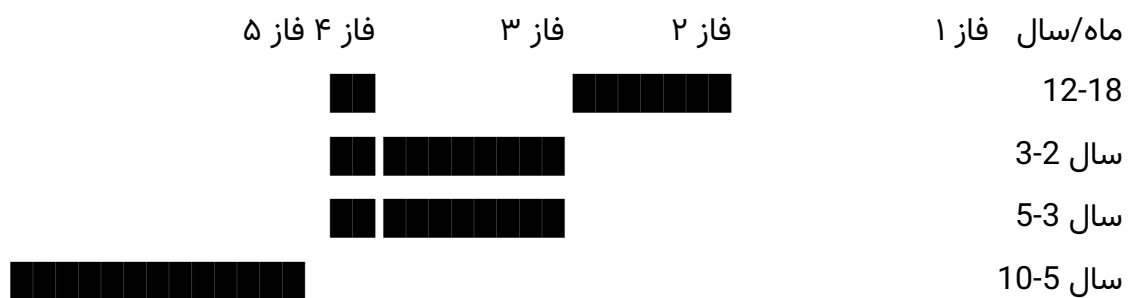
4) اعتبارسنجی و انتشار - ارائه نتایج و طرح‌های مفهومی به مجلات علمی - به‌روزرسانی مدل‌ها با بازخوردهای جامعه

زمان‌بندی گانت

راهنمایی عمومی: - در گذشته، فاز ۴ به‌طور همزمان با فازهای دیگر پیش می‌رود تا امکان انتشار و اعتبارسنجی سریع فراهم گردد. - فازهای میانی باهم تعامل دارند تا اطلاعات بازخوردی برای فازهای بعدی فراهم شود.

جدول گانت (توضیحی):

ماه/سال	فاز ۱	فاز ۲	فاز ۳	فاز ۴	فاز ۵
0-6	██████████			██	
6-12	██████████			██	



راهنما: ■ فعالیت فعال در آن بازه زمانی.

نکته مدیریتی مهم: - زمان بندی فاز ۴ به صورت موازی با فازهای ۱ تا ۳ است تا همزمانی انتشار و اعتبارسنجی علمی با کار پژوهشی فازهای دیگر انجام گیرد. - فاز ۲ با تبدیل کد به معماری Astropy/CLASS/Cobaya و افزودن  $\Lambda(a)$  و ترم هم اثر، به پروژه امکان توسعه و اتصال با داده های جدید را می دهد. - تعامل فاز ۳ با تیم های PIXIE، LiteBIRD، CMB-S4 و برای اجرای تحلیل موج گرانشی-نوترینویی و شبیه سازی هاله های آکسیونی کلیدی است. - مستندسازی دقیق در GitHub و arXiv در فاز ۴ به عنوان پایه اعتبارسنجی علمی و بازتولید عمل می کند. - فاز ۵ برای توسعه نظری بلندمدت و ایجاد یک چارچوب جامع UQCMF ادامه می یابد.

پیوست ها و منابع پیشنهادی

- کتابخانه ها و ابزارها:
- Astropy: مجموعه ای از ابزارهای نجومی برای داده های اخترفیزیکی
- CLASS: کد محاسبه طیف های CMB و ساختار گیتس
- Cobaya: چارچوب مونت کارلو و جستجوی پارامترها
- emcee: مارکوف Chain Monte Carlo
- PyMultiNest: نمونه برداری با Nested Sampling
- NumPy، SciPy، Matplotlib: محاسبات عددی و گراف ها

• داده های ورودی و منابع داده:

- Planck 2018 data
- DES data
- SPARC data
- Gaia data
- داده های LIGO/Virgo/KAGRA برای مقایسه موج گرانی

• داده های LiteBIRD، PIXIE، CMB-S4 برای فاز ۳

• استانداردهای انتشار:

• arXiv برای پیش انتشار

- GitHub برای مستندسازی و نسخه‌بندی
  - اهداف کیفی:
  - قابلیت بازتولید
  - شفافیت علمی
  - قابلیت گسترش به فریمورک‌های دیگر
  - ریسک‌های فنی و مدیریتی و راهکارهای کاهش:
  - تاخیرهای داده و دسترسی به دیتاست‌ها: استفاده از نسخه‌های آزمایشی و داده‌های پروژه‌های همکاری
  - ناسازگاری کتابخانه‌ها: اجرای تست‌های مجتمع منظم، نگاشت نسخه‌های سازگار
  - نیازهای محاسباتی بالا: برنامه‌ریزی منابع، استفاده از HPC، و بهینه‌سازی کدها
  - همزمانی فازها: تنظیم برنامه‌ریزی دقیق با شورای فنی و گزارش‌های دوره‌ای
- این سند، به عنوان نقشه راه دقیق برای پروژه UQGPF تدوین شده است تا تیم‌های پژوهشی بتوانند با برنامه‌ریزی دقیق، مدیریت منابع، و همکاری بین‌المللی به اهداف علمی دست یابند.