GFF PUBLIC RESEARCH RECORD

GFF 연구 프로그램의 전개와 성과

초기 직관에서 구면 양자 모형까지

공개 자료 범위	2025년 3월 26일–2026년 10월 22일
문서 성격	공개 원문에 근거한 연구사 · 성과 해설
동반 문서	GFF 연구 프로그램의 DOI 등록 문헌 및 공개 연구자료 목록

유한한 정보 처리와 시간 지연이라는 직관이, 계산 가능한 모형과 관측 제약, 공통 작용의 정식화, 구면 양자 모형의 경계 조건 연구로 발전한 과정을 정리한다.

이 프로그램의 성과는 하나의 완성 이론을 입증한 데 있지 않다. 출발 가설을 구체적인 계산과 공개 검증의 대상으로 바꾸고, 어떤 설명이 성립하며 어떤 연결이 아직 남아 있는지를 분명하게 만든 데 있다.

1 이 문서의 관점과 읽는 순서

시간 순서로 전체 흐름을 잡고, 주제별로 질문 · 성과 · 남은 연결을 살펴본다.

GFF(G-Field Framework)는 초기 문서의 중력 레벨 가설에서 시작해, 시공간을 동적인 매질로 해석하는 현상론과 스칼라-텐서 유효 이론의 형태로 발전했다. 연구의 진행은 개념을 계속 덧붙이는 방식만으로 이루어지지 않았다. 관측 제약을 적용하면서 일부 기대가 약해졌고, 후속 공개 논문은 정의 · 질량 정규화 · 경계 조건을 더 구체적으로 정리했다.

이 문서는 공개 원문이 실제로 제시한 결과를 중심으로 설명한다. 원문에 있는 개념 제안, 수학적 구성, 수치 결과, 자료 적합을 서로 다른 성과로 구분하며, 그중 하나가 나머지 모두를 보증한다고 해석하지 않는다. 새로운 재계산이나 독립 재현 검증을 수행한 보고서는 아니다.

자료의 범위

P01–P20은 공개 원고의 기록, S01–S02는 공개 소프트웨어다. 이 번호는 별책 DOI 목록과 공유한다. 원고 기록 20건은 프리프린트 18건과 제안 문서 2건이며, P01 · P02 · P04는 같은 저장소 버전 계열이다. P19 보충자료는 같은 DOI에 포함되어 있다.

주제별 길잡이

주제	핵심 질문	관련 공개 기록
개념과 작업 가설	정보 처리 · 시계 · 중력 레벨을 어떻게 연결하는가?	P01–P08
미시 구성	국소 수송에서 어떤 연속적 성질이 나타나는가?	P10
우주론	최소 후기 확장이 관측 자료를 개선하는가?	P08 · P09 · P13, S01
약중력 · 고에너지	태양계와 광자 관측을 만족하는가?	P11 · P14 · P15
강중력	별의 구조 · 시계 · 반지름에 어떤 변화가 생기는가?	P12 · P16–P18
공통 정식화	여러 영역의 정의와 작용을 일치시킬 수 있는가?	P19
구면 양자 모형	연산자 경계와 반응의 격자 의존성은 어떠한가?	P20, S02

2 시간표 I: 직관에서 계산 가능한 프로그램으로

2025년에는 해석의 언어가 정리되었고, 2026년 초에는 수치 구성과 국소 중력 제약으로 질문이 좁혀졌다.

공개일	번호	전개와 의미
	출발점	최소 · 최대 한계, 정보 처리량 보존, 레벨에 따른 시간 지연이라는 직관.
2025-03-26	P01	중력 레벨과 불연속 운동을 제안한다. 상대론적 현상을 다른 언어로 설명하려는 개념 단계다.
2025-03-28	P02	V3에서 정보 밀도, 상대 운동, 임계 에너지와의 연결을 확장한다.
2025-04-10	P03	시공간을 정보 처리로 생성되는 프레임으로 해석한다.
2025-04-28	P04	V4에서 유한 한계와 정보 동역학을 G 장의 틀로 묶는다.
2025-05-01	P05	동적 생성, 시간, 엔트로피의 방향을 연결하는 제안을 제시한다.
2025-06-09	P06	V5에서 시간 지연을 중심에 두고 국소 광속과 외부 기준의 속도를 구별한다.
2025-07-28	P07	동적 매질의 현상론을 제시하고 시계 결합과 여러 관측 영역의 연구 과제를 조직한다.
2025-08-25	P08	보존 전류와 ΛCDM 기준선을 정리하고 후기 · 환경 의존 확장을 제안한다.
2025-12-01	P09	SN+BAO 관측 자료에 최소 확장을 비교한다. 같은 날 분석 코드 S01을 공개한다.
2026-03-09	P10	유한 범위 국소 수송에서 연속성 · 조건부 포아송 산포 · 유한 적외선 신호 구간을 수치적으로 구성한다.
2026-03-25	P11	실제 태양 프로파일을 이용한 경계값 문제에서 약중력 제약과 해의 가지를 조사한다.

이 시기의 전환

초기에는 “시간 지연을 무엇으로 이해할 것인가”가 중심이었다. 이후에는 “이 결합을 선택했을 때 어떤 관측값과 방정식이 나오는가”가 중심 질문이 되었다. 개념적 설명을 수학적 가정으로 옮긴 뒤, 모형별 계산과 자료 비교를 통해 그 가정의 생산성을 시험하기 시작한 것이다.

근거: [P01]–[P11], [S01]; 저자 제공 최초 직관 자료.

3 시간표 II: 영역별 제약에서 공통 정식화와 양자 문제로

2026년의 공개 연구는 성공 사례뿐 아니라 기존 기대가 유지되지 않는 조건도 드러냈다.

공개일	번호	전개와 의미
2026-04-14	P12	물질이 지지하는 스칼라-가우스-보네 중성자별에서 시계 성분의 완화와 전체 시간 지연 심화가 공존함을 보인다.
2026-04-20	P13	압축 CMB를 더한 우주론 분석에서 높은 H_0의 이점이 유지되지 않는다는 결과를 제시한다.
2026-04-27	P14	태양 모형의 허용 문턱을 세밀화하고 강건성과 한 단계 결합 보정을 조사한다.
2026-05-01	P15	광자 비행시간 한계를 수정하고 초고에너지 우주선과의 연결에 필요한 조건을 정리한다.
2026-05-11	P16	현실적 상태방정식으로 정적 중성자별의 부호 지도와 가지 중단 후보를 확장한다.
2026-05-25	P17	ADM 질량 정의와 정합적인 전체 경계값 문제로 유한 절단의 영향과 부호 전이를 조사한다.
2026-06-08	P18	같은 질량에서의 반지름 변형을 시계 부호 유형에 연결한다.
2026-07-20	P19	MAF-1이 공통 작용, 장 좌표, 측도, 질량 및 관측량의 대응을 정리한다. 보충자료도 같은 DOI로 공개한다.
2026-10-22	P20	구면 질량 연산자와 별도의 매개 모형에서 경계 · 전류 · 순도 · 격자 의존성을 분석한다. 재현 자료 S02를 함께 공개한다.

하나의 직선 경로로 읽지 않는 이유

우주론, 태양계, 중성자별, 구면 양자 모형은 서로 다른 근사와 입력을 사용한다. 시간상 뒤에 발표되었다고 해서 앞선 모든 모형을 대체하거나 통합 검증한 것은 아니다. 특히 P20은 GFF 또는 MAF-1과의 동일성을 명시하지 않는다. 이 문서에서는 에너지 · 시간 · 중력의 관계를 구체적으로 다룬다는 문제의식의 연속성으로 연결하되, 하나의 완성된 공통 동역학으로 묶지 않는다.

근거: [P12]–[P20], [S02].

4 초기 직관: 유한한 정보 처리와 시간 지연

출발점은 시공간의 능력에 한계가 있다는 가정이며, 초기 문서들은 그 가정의 해석적 가능성을 탐색했다.

최초 직관의 구조

최초 직관은 시공간에 최소 단위와 최대 처리량이 있다는 가정에서 출발한다. 질량 · 에너지 · 상호작용 정보가 밀집하면 "레벨"이 올라가고, 같은 공간을 통과하는 데 필요한 외부 기준 시간이 늘어난다. 현지 시계도 같은 비율로 느려지므로 국소 관찰자는 일정한 광속을 측정한다는 설명이다.

운동에 대해서는 한정된 정보 처리량을 공간 이동과 내부 시간 변화 사이에 배분하는 그림을 제안한다. 고속에서 내부 시간 변화에 배분되는 몫이 줄고, 최대 레벨에 가까워질수록 추가 가속이 어려워진다는 해석이다. 이 그림은 이후 연구의 동기를 이해하는 데 유용하지만, 그 자체로 로렌츠 변환이나 일반상대론의 장방정식을 유도하지는 않는다.

개념 문서들의 발전

P01과 P02는 중력 레벨, 불연속 운동, 정보 밀도와 상대론적 현상의 연결을 제안했다. P03과 P05는 시공간을 프레임의 동적 생성으로 해석하며 시간의 방향과 엔트로피까지 범위를 넓혔다. P04는 최소 · 최대 한계와 정보 동역학을 G 장의 틀로 조직했다. 이 단계에서 특이점 회피나 상전이는 설명 가능성으로 제안되었다.

P06의 시간 지연 중심 재정리는 중요한 구분을 도입했다. 외부 기준에서 빛이 느리게 전파되는 것처럼 보이는 현상과 현지 관찰자가 측정하는 광속을 분리한 것이다. 다만 제목의 로렌츠 불변성 문제 "해결"이라는 표현을 모든 미시 모형에 대한 증명으로 확대해서는 안 된다. 이 단계에서는 미시 규칙과 대칭성이 완전히 정해져 있지 않았다.

용어가 바뀐다는 점

초기 중력 레벨, 초기 논문의 범위를 제한한 G, 후속 유효 이론의 양의 장 변수 χ는 동일하게 정의된 양이 아니다. 또한 "정보량 보존"이라는 출발 직관과 후속 모형에서 구체적으로 구성한 보존 전류도 자동으로 같아지지 않는다. 프로그램의 연속성은 같은 물리량의 정의가 처음부터 완성되어 있었다는 뜻이 아니라, 비슷한 질문을 점차 더 엄밀한 변수와 방정식으로 옮긴 과정에 있다.

근거: [P01]–[P06].

5 작업 가설의 역할: 시계 결합을 계산의 대상으로 만들다

제곱근 역수 결합은 미시 유도가 완료된 법칙이 아니라, 결과와 제약을 계산하게 하는 유효 가설로 작동했다.

P07은 동적 매질 관점을 현상론적 연구 틀로 옮겼고, P08은 기준 상태와 환경 의존 확장을 더 명시적으로 정리했다. 이 계열의 중요한 선택은 장의 크기와 시계 · 물질 결합을 연결하는 제곱근 역수 관계다. 후속 MAF-1의 정규화된 변수에서는 다음처럼 쓴다.

$$A(\chi) = \chi^{-1/2}, \qquad \chi > 0. \tag{1}$$

양의 기준값 $G_{\min}$에 대해 $\chi = G/G_{\min}$으로 놓는 표기에서는 $A = \sqrt{G_{\min}/G}$와 대응한다. 이 표기상의 대응은 초기의 모든 "레벨" 정의와 미시 동역학이 이미 동일하다는 뜻은 아니다.

가설이 실제로 하는 일

등각 물질 계량을 $\widetilde{g}_{\mu\nu} = A^2 g_{\mu\nu}$로 택하면 물질의 시계와 길이는 $\widetilde{g}_{\mu\nu}$로 측정한다. 정적 계량에서 $g_{tt} = -e^{2\Phi}$인 경우, 해당 시간 좌표에 대한 물질 시계 인자는

$$\mathcal{T} = Ae^{\Phi}, \qquad \ln \mathcal{T} = \ln A + \Phi \tag{2}$$

로 나뉜다. 스칼라 시계 성분이 완화되어도 계량 변화가 더 크면 전체 시간 지연은 심해질 수 있다. 후속 중성자별 연구는 이 구분을 실제 해에서 조사했다.

유효 가설로서의 성과와 경계

이 가설의 장점은 정성적 설명을 일관된 함수로 고정하여 계산을 가능하게 했다는 점이다. 물질 결합, 태양계의 추가 힘, 별의 구조와 시계, 장 좌표 변환 등을 같은 표현으로 다룰 수 있다. 결과가 맞지 않을 때 결합 함수만으로 문제가 해결된다고 말할 수 없게 만들고, 질량 · 상호작용 · 경계 조건의 역할을 분리하도록 요구한다.

반면 제곱근 역수라는 모양의 독자적인 실증적 우위나 유일한 미시 기원은 공개 연구로 확정되지 않았다. P10의 국소 수송 구성은 이 함수를 유도하지 않으며, P20의 구면 양자 모형 역시 이 결합으로의 대응을 제시하지 않는다. 현재의 공적은 이 선택을 통해 검증 가능한 연구를 전개했다는 것이며, 함수 자체가 자연의 법칙으로 확인되었다는 것이 아니다.

근거: [P07] · [P08], [P12], [P19]의 작용 · 장 좌표 · 관측량 정의.

6 미시 구성: 유한 범위 국소 수송의 수치적 성과

국소적이고 보존적인 규칙에서 몇 가지 연속적 성질이 나타나는 모형을 구체적으로 구성했다.

P10은 정적인 3차원 주기 공간에 놓인 10^4개 점의 무작위 기하 그래프를 사용한다. 상호작용은 유한한 범위의 이웃 사이에서 일어나며, 국소 보존을 만족하도록 설계한 갱신 규칙을 적용한다. 여기서 질문은 이 모형을 거친 눈금으로 보았을 때 연속성 방정식과 통계적 산포, 제한된 전파 구조가 나타나는지다.

보고된 세 가지 결과

첫째, 거친 눈금의 연속성 관계에 대한 평균 잔차가 약 9.38×10^{-7}이고, 전역 보존 장부의 오차는 약 5.46×10^{-16} 수준으로 보고되었다. 이는 주어진 갱신 규칙의 보존 구조가 수치적으로 유지되고, 선택한 거친 눈금에서 연속적 표현과 잘 대응함을 보여 준다.

둘째, 조건부 표본에서 상대적 산포의 크기가 표본 수에 대해 약 -0.501의 로그 기울기를 보이고 Fano 인자가 1에 가까웠다. 이는 설정한 조건에서 포아송형 통계와 대응한다. 보편적인 양자 통계나 모든 환경의 정보 요동을 유도한 결과로 해석하지는 않는다.

셋째, 위상 전파의 대용 지표에서 낮은 파수의 신호 원뿔에 가까운 구간을 확인했다. 첫 파수 껍질의 최대 편차는 약 0.71%였지만, 세 번째 껍질에서는 약 10.4%로 커졌다. 따라서 결과 자체가 유효한 적외선 구간과 그 밖의 한계를 함께 보여 준다.

프로그램에서의 의미

초기의 “유한하고 국소적인 구조에서 매끄러운 시공간 현상이 나타날 수 있다”는 생각을 실제 계산 가능한 예로 바꾼 점이 성과다. 그러나 국소 보존은 갱신 규칙에 넣은 성질이다. 그것이 왜 자연에서 선택되는지까지 설명하지 않는다. 모형은 정적 그래프이므로 우주 팽창과 중력장의 동역학, 중력파의 텐서 전파 속도를 포함하지 않는다.

따라서 이 연구는 구성적 가능성의 증거로 읽는 것이 정확하다. 완전한 시공간의 출현, 정확한 로렌츠 대칭, $A(\chi)$의 유도 또는 MAF-1의 미시적 완성을 성립시킨 연구는 아니다.

근거: [P10]의 구성 규칙, 수치 결과 및 범위 설명.

7 우주론: 초기 적합 개선과 결합 자료의 제약

관측 자료를 늘렸을 때 초기의 이점이 유지되는지 시험했고, 시험한 최소 모형의 한계를 확인했다.

P08은 ΛCDM과 일치하는 기준선을 만들고 후기 · 환경 의존 변형을 별도로 도입했다. P09는 유효 플랑크 질량의 시간 변화와 불변 전류를 사용한 최소 확장을 초신성(SN)과 바리온 음향 진동(BAO) 자료에 비교했다. 중력파의 광속 전파 및 no-slip 조건을 적용한 유효 이론적 설정 아래, 전환 시점과 진폭을 제한한 여러 경우를 조사했다.

SN+BAO 단계의 성과

P09의 조건부 분석에서는 H_0가 대략 70–71 $\mathrm{km\,s^{-1}\,Mpc^{-1}}$인 적합과 일부 적합도 개선이 나타났다. 예를 들어 플랑크 질량 변화 진폭을 -0.05로 고정한 GFF-accel 경우에 $\Delta\chi^2 \simeq -5.1$이 보고되었다. 이것은 특정 진폭과 모형 선택에서 얻은 결과이며, 전체 모수 공간의 선호도나 모든 우주론 자료의 일치로 확대할 수 없다.

S01은 이러한 분석을 위한 코드를 별도로 공개했다. 모형 비교가 재검토 가능한 계산 작업으로 전환되었다는 점에서 의미가 있다. 다만 관측 원자료가 모두 패키지에 들어 있는 것은 아니므로 사용자는 외부 자료를 준비해야 한다.

압축 CMB를 추가했을 때

P13은 초기와 현재에 일반상대론으로 돌아오는 보상된 후기 변화 모형을 사용해 SN+BAO+압축 CMB를 함께 분석했다. 이 설정에서 CMB 적합의 이득과 BAO 적합의 손실이 상쇄되었다. 기준 모형의 H_0는 약 $66.66\,\mathrm{km\,s^{-1}\,Mpc^{-1}}$였고, 작은 진폭 $\alpha \simeq -0.005$ 부근의 개선은 $\Delta\chi^2 \simeq -0.036$으로 거의 영가설 수준이었다.

남은 성과와 해석

연구의 성과는 H_0 긴장의 해결을 확정한 데 있지 않다. 초기 자료 선택에서 보인 가능성이 더 보수적인 결합 자료를 통과하지 못한다는 점을 확인하여 유효한 탐색 범위를 좁혔다. 이것은 프로그램의 자기수정에 해당한다.

동시에 이 결론은 고정한 초기 우주 물리, 제한된 전환 형태, 압축 CMB를 사용한 시험 범위에 속한다. 모든 가능한 GFF 확장을 배제한 결과는 아니지만, 공개된 최소 후기 모형을 성공한 H_0 해결책으로 소개할 근거도 아니다. 완전한 CMB 스펙트럼, 구조 성장, 렌즈 효과를 포함한 공동 검증은 별도의 과제다.

근거: [P08] · [P09] · [P13], [S01].

8 약중력: 태양 자료로 허용 가지를 좁히다

차폐가 작동할 것이라는 기대를 구체적인 태양 경계값 문제로 시험했다.

P11은 BS2005-OP 태양 프로파일을 사용하고 내부 해와 외부 감쇠 해를 맞추는 경계값 문제를 구성했다. 스칼라의 유효 질량과 삼차 미분 상호작용이 Cassini 제약 및 해의 실재성 · 연속성에 어떤 영향을 주는지 조사한다. 단순한 점질량 근사를 넘어 실제 태양의 분포 자료를 반영한 것이 특징이다.

허용 영역에 관한 결과

삼차 결합 ϵ_3와 질량 척도 $\mu = m_{\mathrm{eff}} R_\odot$를 바꾼 5,000개 격자점에서, 주된 해의 가지는 실수이고 감쇠하며 선형 극한과 연결되어야 했다. 낮은 ϵ_3에서 Cassini 통과 문턱은 초기 격자의 $\mu \simeq 26.36$ 부근으로 나타났다. 삼차항만으로 낮은 질량 영역을 넓게 구제하는 안전 영역은 확인되지 않았다. 살아남는 영역에서는 질량에 의한 유한 범위 효과가 중요했다.

P14는 이 문턱을 격자 사이까지 좁혔다. 논문이 정한 구조적 허용 기준에서 질량 통과 구간은

$$25.7607 \leq \mu_{\mathrm{pass}} \leq 25.8955$$

로 제시되었다. 가지의 유효성 경계와 병합 구간도 초기 격자보다 정밀하게 추적했다. 이 수치는 사용한 축약 방정식, 정규화, 허용 기준에 속하는 결과이며 스칼라-텐서 이론 전체의 보편적인 한계값은 아니다.

이 연구가 정리한 것

약중력에서 물리적으로 의미 있는 질문은 단지 “작은 추가 힘이 나오는가”가 아니다. 해의 가지가 존재하고, 내부와 외부가 연결되며, 관측 제약을 만족하는지 함께 보아야 한다. 두 논문은 이러한 조건을 구분하여 제시했다. 수치 오차나 격자 선택에 따라 달라질 수 있는 문턱을 구간으로 보고한 것도 진전이다.

P14의 한 단계 결합 보정은 고정 태양 배경 근사가 얼마나 바뀔 수 있는지 살펴보는 중간 단계다. 압력 · 밀도 · 중력 · 스칼라를 모두 자기일관적으로 반복 수렴시킨 태양 구조의 완성은 아니다. 이후 P19가 관측 질량과 이론 변수의 정규화를 명시한 이유도 이러한 대응의 중요성과 연결된다.

근거: [P11] · [P14]; 정규화의 후속 공개 정리는 [P19].

9 고에너지 현상론: 광자 비행시간 연결의 범위를 명확히 하다

관측 제약을 수정하고, 광자 자료에서 다른 입자 영역으로 넘어갈 때 필요한 가정을 드러냈다.

P15는 GFF 지수 η와 광자 분산의 차수 p를 $p = 1/\eta$로 연결하는 현상론적 가정을 시험한다. 이 연결은 공통 작용에서 광자의 전파 방정식을 직접 유도한 결과가 아니다. 따라서 감마선 폭발의 비행시간 자료를 적용할 때에는 연결 가정을 먼저 명시해야 한다.

수치 한계의 수정

$\eta = 1/2$를 선택하면 이 대응에서는 이차 분산을 다룬다. 논문은 GRB 090510에 대응하는 하한을 약 $1.3 \times 10^{11}\,\mathrm{GeV}$로 정리하며, 이전에 사용한 약 $6.3 \times 10^{19}\,\mathrm{GeV}$와 구별했다. 중요한 것은 한계가 약해졌다는 사실 자체보다, 분산 차수와 관측 제약의 대응을 바로잡았다는 점이다.

이를 전자 질량 기준의 로렌츠 인자로 환산한 큰 수치는 참고용 척도다. 그 값이 전자가 실제로 포화되는 에너지의 예측값이라는 뜻은 아니다. 또한 광자, 전자, 양성자, 핵에 같은 에너지 척도를 적용하려면 물질 종 사이의 대응과 합성 입자의 역할을 따로 정해야 한다.

초고에너지 우주선으로의 확장

논문은 초고에너지 우주선을 후속 탐색 대상으로 제안한다. 그러나 이를 실제 검증으로 만들려면 입자별 결합, 분산 관계, 천체의 가속 과정 및 전파 효과가 함께 지정되어야 한다. 현재의 공개 결과는 관심을 둘 목표 구간과 필요한 연결 조건을 정리한 단계다.

이 연구는 작업 가설의 존속 가능성과 검증 완료가 다르다는 점을 잘 보여 준다. 수정된 한계가 어떤 지수 선택을 즉시 배제하지 않는다고 해서 그 지수를 지지하는 관측 증거가 생기는 것은 아니다. 가설이 실제 예측을 제공하려면 작용 수준의 광자·물질 결합 또는 독립적으로 명시한 유효 분산 모형이 더 필요하다.

근거: [P15]의 비행시간 한계 수정 및 초고에너지 목표 구간 논의.

10 강중력 I: 시계 성분과 전체 시간 지연을 분리하다

스칼라가 약해지는 변화와 중력에 의한 시간 지연 심화가 같은 해에서 함께 나타날 수 있다.

P12는 물질이 지지하는 스칼라-가우스-보네 중성자별을 사용해 스칼라의 억제와 시간 지연의 관계를 조사한다. 비교 기준인 가우스-보네 결합 $\eta_{\mathrm{GB}} = 0$의 해에도 물질에 의한 스칼라가 남을 수 있으므로, 그 기준을 순수 일반상대론 해와 같다고 보아서는 안 된다.

전체 시계 반응의 분해

같은 정규화 아래 물질 시계의 변화는

$$\Delta \ln \mathcal{T} = \Delta \ln A + \Delta \Phi$$

로 나뉜다. 폴리트로프 예에서 η_{GB}를 0에서 1500으로 바꾼 대표적인 비교는 $\Delta \ln A \simeq 3.53 \times 10^{-3}$, $\Delta\Phi \simeq -8.66 \times 10^{-3}$을 주어, 합은 약 -5.13×10^{-3}이었다. 스칼라 시계 성분의 지연은 완화되었지만, 계량의 효과가 더 커서 전체 시계는 더 느려진 것이다.

이 결과는 “스칼라의 크기 감소”만 보고 시간 지연을 판단하는 해석을 수정한다. 물리적 시계는 선택한 물질 계량과 별의 전체 구조에서 읽어야 한다.

현실적 상태방정식으로의 확장

P16은 APR4, BSK24, SLY4 상태방정식으로 정적 해의 지도를 넓혔다. 논문이 보고한 최종 구성에서는 7,632개 중 7,249개 점이 수치적으로 지지되었다. 스칼라 시계 성분과 계량 성분의 부호 조합이 하나로 고정되지 않으며, 위치와 물성에 따라 구분되는 영역이 나타났다.

가지의 중단 후보를 따로 분류한 점도 유용하다. 다만 경계값 풀이의 실패나 가지의 소실이 곧 물리적 동역학 불안정성을 뜻하지는 않는다. 이 연구의 “지지된 해”는 수치적으로 구성된 정적 해라는 뜻이며, 모든 섭동에서 안정한 별을 가리키지 않는다. 또한 이 단계의 유한 반지름 질량 M_{80}은 무한원에서 정의되는 ADM 질량과 구별된다.

근거: [P12] · [P16]의 정적 해, 시계 분해 및 범위 설명.

11 강중력 II: 질량 정의와 반지름 관측량으로 연결하다

정적 해의 부호 지도를 더 일관된 경계 조건과 관측량에 가까운 비교로 확장했다.

P17은 내부와 외부 영역을 함께 다루는 경계값 문제를 사용하고 ADM 질량 정의에 정합적인 정규화를 적용한다. 이는 이전의 유한 절단 결과가 경계 처리 때문에 달라졌는지, 시계 성분과 계량 성분의 부호 관계가 유지되는지 확인하기 위한 공개 연구다.

유한 절단과 부호 위상

이전 결과와 대응시킨 188개 비교점에서 조사한 $\eta_{\mathrm{GB}} = 50, 100, 150$의 부호가 일치했다. 현실적 상태방정식의 적용 범위와 고밀도 구간의 주의점도 함께 다루었다. 이로써 주요 정적 부호 구조가 특정 유한 절단의 산물인지 검토하는 근거가 강화되었다.

여기서 “ADM 정합”은 질량 · 경계 정의의 일관성을 뜻한다. 유한한 수치 경계에서 얻은 결과가 모든 설정의 무한원 극한으로 수렴한다는 일반 증명이나, 별의 방사형 동역학 안정성의 증명과는 구별해야 한다.

같은 질량에서 반지름을 비교하기

P18은 동일한 질량을 갖는 해끼리 비교하여 반지름 변형을 정의하고, 이 값이 시계 부호 유형과 어떻게 연결되는지 조사했다. 비교 기준은 같은 물질 결합에서 가우스-보네 결합을 0으로 둔 가지다. 따라서 “일반상대론 대비 반지름 차이”라는 표현으로 일괄 바꾸면 비교의 의미가 달라진다.

논문은 수치 목록 안에서 약 95–98%의 분류 성능을 보고했다. 이는 내부 해 집합의 구조를 나타내며, 실제 중성자별 관측에서 같은 정확도로 두 이론을 구분할 수 있다는 뜻은 아니다. 논문에 나온 작은 반지름 문턱도 해당 표본과 설정의 분류 기준이지 보편 상수나 확정된 관측 신호가 아니다.

진전의 성격

이 계열의 성과는 스칼라의 크기라는 내부 변수에서 출발하여, 물질 시계 · 질량 · 반지름이라는 물리적 해석이 가능한 양으로 연결을 옮겼다는 것이다. 남아 있는 핵심 과제는 정적 가지의 동역학 안정성, 상태방정식 불확실성, 실제 질량 · 반지름 자료를 사용한 추론을 함께 처리하는 일이다.

근거: [P17] · [P18].

12 MAF-1: 공통 작용과 관측량의 대응을 정리하다

여러 영역의 계산을 비교하기 전에 무엇을 같은 이론이라고 부를 것인지 명시한 정식화다.

P19의 MAF-1은 선택한 연산자들을 묶은 스칼라-텐서 유효 이론이다. 등각 물질 결합, 질량을 갖는 무차원 스칼라, 삼차 미분 상호작용, 이차 스칼라-가우스-보네 결합을 공통 작용에 포함한다. 이름의 "Minimal"은 채택한 연산자 집합을 가리키며, 유일성이나 자외선 완성을 뜻하지 않는다.

양의 장과 로그 장의 정확한 대응

정의역 $\chi > 0$에서

$$\lambda = \ln \chi, \qquad A = e^{-\lambda/2}$$

로 변수만 바꾸는 경우, 작용의 운동항뿐 아니라 규제된 측도, 물질 결합, 소스 · 상태, 초기 · 경계 자료도 함께 변환해야 한다. 이 전체 대응을 유지해야 두 좌표가 같은 이론을 나타낸다. 로그 변수에 독립적인 정준 운동항이나 평탄한 측도를 새로 선택하면 다른 이론이 된다.

같은 DOI의 보충자료는 이러한 좌표 · 측도 및 열린 계의 확률적 대응을 보완한다. 수학적 변수 대응의 엄밀성을 높인 성과이며, 시계 결합의 미시 기원을 유도한 결과와는 다르다.

질량과 중력 상수의 구별

논문은 작용의 중력 결합, 국소적인 약한 물체 사이의 측정 결합, 바리온 질량, ADM 질량, 궤도로 추정한 질량 모수, 물리적 원주 반지름을 구별한다. 이 구분이 없으면 서로 다른 계산에서 같은 기호를 썼다는 이유만으로 태양계와 중성자별, 우주론을 비교하게 된다.

태양의 큰 결합 회귀 시험에서는 관측 궤도 질량 모수를 고정했을 때 중심 압력의 비가 $P_c/P_{c,\mathrm{GR}} \simeq 1.781$이었다. 원문은 이를 물리적 태양 후보가 아닌 수치 풀이 점검용 기준으로 남겼다. 특정 부호 · 소스 · 가지에서 양의 삼차 결합이 힘을 줄이기보다 강화할 수 있다는 점도 주어진 규약 안에서 설명한다.

현재 정식화의 경계

공통 작용이 있다는 사실만으로 모든 영역의 허용 모수가 겹치는 것은 아니다. 원문은 구체적인 자외선 절단, 복사 보정에 대한 닫힘, 삼차항과 가우스-보네항이 함께 있는 조밀 천체의 안정성, 모든 영역의 공동 타당성을 주장하지 않는다. MAF-1의 성과는 이 검증을 수행할 때 필요한 정의와 대응의 토대를 명시한 데 있다.

근거: [P19] 본문 및 같은 DOI의 보충자료.

13 최신 연구: 구면 질량 연산자와 전류 · 순도 반응

고정 격자의 연산자 경계와 전체 반응의 격자 의존성을 구별하여, 양자 모형이 성립하는 조건을 드러냈다.

P20은 구면 정준 축약의 경계 생성자 후보, 약중력 커널을 재현하는 별도의 조화 매개 모형, 동일 초기 준비에서 결합을 켜고 끈 반응을 다룬다. 이 세 구성의 연결은 정적 커널과 약중력 차수에 근거한다. 기존 GFF · MAF-1과의 완전한 동역학적 동일성은 제시하지 않는다.

질량 연산자의 경계

양의 소스에 대한 대칭 질량 재귀는 각 고정 격자에서 상한을 보존한다. 그러나 진공 평균을 셀별로 빼면 부분 에너지 요동 때문에 음의 사차 진공 질량이 생길 수 있다. 논문은 지정한 평활화와 가우스 Wick 보정을 적용한 생성자가 고정 공간 격자의 무한 Fock 공간에서 아래로 유계임을 보였다. 이 결과는 공간 격자를 계속 세밀하게 할 때에도 같은 하한이 유지된다는 뜻이 아니다.

반면 별도의 보정 전 소스 매개 모형은 0이 아닌 결합에서 절단하지 않은 Fock 공간의 하한을 갖지 않는다. 따라서 이 모형의 반응은 섭동 계수로 다루며, 유한 결합의 직접 제어는 유한 Fock 절단에 제한한다. 앞의 보정 생성자와 뒤의 매개 모형을 같은 안정성 결과로 묶어서는 안 된다.

평균과 요동의 분리

모든 보조 모드를 포함한 선도 g^2 전류 반응을 $N \le 512$까지 계산했을 때, 두 초기 준비 모두에서 J_2가 세밀한 격자에서 대략 N^2으로 증가했다. 정적 준비의 $N = 256$에서 512로의 증가분 중 약 99.99967%는 소스의 진공 평균 교차항에 해당했다. 평균 성분을 분리한 잔여 J_2와 J_4는 제한적인 안정화 양상을 보였다.

큰 초기 준비 노름의 증가도 대부분 공통 평균 변위에 위치했다. 따라서 큰 노름을 곧바로 큰 얽힘이나 순도 손실로 읽을 수 없다. 순도 계수는 $N \le 256$, 평균 채널의 별도 계산은 $N = 1024$, 유한 결합 제어는 $N = 4$의 유한 절단까지라는 서로 다른 범위를 갖는다.

연구의 성과와 남은 연결

성과는 중력 감쇠나 시계 적색편이를 확인한 데 있지 않다. 안정성 경계, 평균 · 요동의 역할, 전체 계수와 부분 계수의 수렴 차이를 명확히 했고, S02에 재현 자료를 공개했다. 유한 결합의 비섭동 연속체 극한, 유일한 재규격화, 격자에 무관한 중력 감쇠 및 기존 시계 결합으로의 유도는 성립한 결과로 제시되지 않았다.

근거: [P20]의 초록 · 연산자 명제 · 반응 분석 · 범위 설명, [S02].

14 공개 성과로 본 현재 위치

현재는 여러 영역의 시험 가능한 유효 모형과 양자 구성 연구가 축적된 단계이며, 하나의 완성된 중력이론으로 통합 검증된 단계는 아니다.

축적된 성과

1. **질문의 정량화.** 정보 처리와 시간 지연의 직관을 시계 결합, 보존 전류, 장방정식, 경계값 문제와 관측 자료 비교로 옮겼다.
2. **구성적 수치 예.** 국소 수송에서 연속성 및 제한된 신호 전파 구간이 나타나는 예를 만들고 그 유효 범위를 제시했다.
3. **영역별 제약과 자기수정.** 우주론의 결합 자료, 태양계 경계값 문제, 광자 비행시간에서 유리한 결과와 불리한 결과를 함께 공개했다.
4. **강중력의 물리량 연결.** 시계 성분과 계량 성분을 분리하고, 질량 정규화와 동일 질량의 반지름 비교로 해석을 발전시켰다.
5. **정의의 명료화와 공개 자료.** MAF-1의 공통 작용 · 측도 · 변수 대응, 최신 구면 양자 모형의 경계 분석, 두 공개 소프트웨어 기록을 남겼다.

공개 원문에서 아직 남아 있는 연결

미시 규칙에서 $A(\chi) = \chi^{-1/2}$와 선택한 유효 작용을 도출하는 연결은 완성되지 않았다. 동일한 모수와 관측량 정의로 태양계 · 별 · 우주론을 동시에 통과하는 영역도 확정되지 않았다. 정적 중성자별 해의 존재는 동역학적 안정성을 대신하지 않으며, 구면 양자 모형의 고정 격자 경계는 연속체 극한을 대신하지 않는다.

이 과제들은 수록된 공개 원문이 명시한 적용 범위와 미해결 문제를 종합한 것이다.

작업 가설의 현재 가치

제곱근 역수 결합은 실제 계산과 반증 가능한 질문을 생산했다는 점에서 유효 가설로서의 연구 가치를 보였다. 그러나 그 생산성과 물리적 참임은 별개의 판단이다. 이후의 연구 잠재력은 초기 직관의 설득력을 반복하는 것보다, 지금까지 명시한 미시 대응 · 공동 관측 제약 · 안정성 · 연속체 문제를 풀어 기존 결과 사이의 연결을 강화하는 데 달려 있다.

근거: [P08]–[P20], [S01] · [S02]에 대한 범위 내 종합.

15 공개 문헌과 소프트웨어

아래 번호는 별책 DOI 목록과 같다. 제목은 DOI 등록정보를 기준으로 하며, 등록 제목과 표지가 다른 경우는 별책에서 설명한다. P01 · P02 · P04는 같은 버전 계열이다. P19의 보충자료는 같은 항목에 포함한다.

[**P01**] June Yoo. Alternative Perspectives on Spacetime: The Gravity Level Hypothesis and the Idea of Discrete Motion. 2025-03-26. Preprint. 10.5281/zenodo.15089519.

[**P02**] June Yoo. Alternative Perspectives on Spacetime: The Gravity Level Hypothesis and the Idea of Discrete Motion. 2025-03-28. Preprint. 10.5281/zenodo.15099228.

[**P03**] June Yoo. Dynamic Spacetime Generation: A Computation-Based Frame Universe Model. 2025-04-10. Proposal. 10.5281/zenodo.15187032.

[**P04**] June Yoo. Alternative Perspectives on Spacetime: The Gravity Level Hypothesis and the Idea of Discrete Motion. 2025-04-28. Preprint. 10.5281/zenodo.15296681.

[**P05**] June Yoo. Rethinking Spacetime and Time: Information Processing, Dynamic Generation, and the Arrow of Entropy. 2025-05-01. Proposal. 10.5281/zenodo.15314010.

[**P06**] June Yoo. G Field Framework V5: Physical Limits of Spacetime, Information Dynamics, and the Time Dilation-Centric Resolution of Lorentz Invariance Violation. 2025-06-09. Preprint. 10.5281/zenodo.15621768.

[**P07**] June Yoo. The G-Field Framework: A Phenomenological Model of Spacetime as a Dynamic Medium and its Testable Consequences. 2025-07-28. Preprint. 10.5281/zenodo.16523425.

[**P08**] June Yoo. The G-Field Framework: A Null Benchmark and a Late-Time, Environment-Dependent Extension for the H_0 Tension. 2025-08-25. Preprint. 10.5281/zenodo.16941157.

[**P09**] June Yoo. Minimal G-Field Extensions of ΛCDM: Planck-Mass Running, Invariant Currents, and SN+BAO Constraints. 2025-12-01. Preprint. 10.5281/zenodo.17778028.

[**P10**] June Yoo. Emergence from Finite-Range Local Transport: A Constructive Numerical Demonstration for the G-Field Framework. 2026-03-09. Preprint. 10.5281/zenodo.18923553.

[**P11**] June Yoo. Solar-System Constraints on the GFF Cubic Realization from an Official BS2005-OP Stellar Boundary-Value Problem. 2026-03-25. Preprint. 10.5281/zenodo.19220434.

공개 문헌과 소프트웨어 · 계속

[**P12**] June Yoo. Time-Delay Deepening and Quenching Effects in Matter-Supported Gauss–Bonnet Neutron Stars. 2026-04-14. Preprint. 10.5281/zenodo.19565240.

[**P13**] June Yoo. Combined SN+BAO+Compressed-CMB Constraints on Minimal Late-Time G-Field Cosmology: BAO–CMB Trade-off. 2026-04-20. Preprint. 10.5281/zenodo.19658683.

[**P14**] June Yoo. Refined Solar Matched-BVP Screening of the GFF Weak-Field Lane. 2026-04-27. Preprint. 10.5281/zenodo.19809543.

[**P15**] June Yoo. GFF-(η) Photon Time-of-Flight Stress Test: Corrected GRB Bounds and a UHECR Target Window. 2026-05-01. Preprint. 10.5281/zenodo.19935498.

[**P16**] June Yoo. Realistic-EOS Static Branch Maps in Matter-Supported Scalar-Gauss-Bonnet Neutron Stars: Clock-Sector Sign Topology and Localized Branch-Interruption Candidates. 2026-05-11. Preprint. 10.5281/zenodo.20116609.

[**P17**] June Yoo. ADM-Compatible Full-BVP Sign Topology in Matter-Supported Scalar–Gauss–Bonnet Neutron Stars: A Finite-Cut Legacy Audit and Metric-Deepening Transition Study. 2026-05-25. Preprint. 10.5281/zenodo.20373028.

[**P18**] June Yoo. Iso-Mass Radius-Deformation Imprints of Scalar-Clock Sign Topology in Matter-Supported Scalar-Gauss-Bonnet Neutron Stars. 2026-06-08. Preprint. 10.5281/zenodo.20588666.

[**P19**] June Yoo. MAF-1: A Dual-Chart Scalar-Tensor Effective Theory with Cubic Derivative and Scalar-Gauss-Bonnet Couplings. 2026-07-20. Preprint. 10.5281/zenodo.21451138.

[**P20**] June Yoo. Mass Operators in Spherical Canonical Reduction, Finite-Penalty Mediators, and Current and Purity Responses with Identical Initial Preparation. 2026-10-22. Preprint. 10.5281/zenodo.23560962.

[**S01**] June Yoo. GFF Cosmology Analysis Package: Minimal G-Field Extensions of ΛCDM with SN+BAO Constraints. 2025-12-01. Software. 10.5281/zenodo.17778354.

[**S02**] June Yoo. Spherical mediator response: reproducible currents, purity and convergence diagnostics. 2026-10-22. Software. 10.5281/zenodo.23555301.