

# Ռելյատիվիստիկ հիդրոդինամիկա և տրանսպորտ կոմպակտ աստղերում

Արուս Հարությունյան



Առաջընթաց արդյունավետ գիտությանը 2026  
11-16 մայիսի, Դիլիջան

*Ղեկավար՝* պրոֆ. Արմեն Սեդրակյան (Ֆրանկֆուրտի համալսարան, Գերմանիա և Վրոցլավի համալսարան, Լեհաստան)

*Համադեկավար՝* ֆմգթ Արուս Հարությունյան (Վիկտոր Համբարձումյանի անվան Բյուրականի աստղադիտարան)

### Ծրագրի հիմնական գիտական ուղղությունները

- Տեղափոխման երևույթները նեյտրոնային աստղերում և դրանց կրկնակի համակարգերում
  - Էլեկտրամագնիսական պլազման նեյտրոնային աստղերի պատյաններում
  - Միջուկային և քվարկային նյութը նեյտրոնային աստղերի կորիզներում
- Տեղափոխման երևույթները ծանր իոնների բախումներում. երկրորդ կարգի հիդրոդինամիկա

# Խմբի անդամները



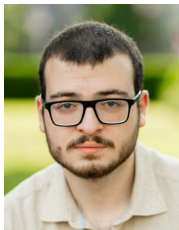
Արմեն Սեղրակյան



Արու Հառությունյան



Գայանե Կոստանդյան



Տիգրան Պետրոսյան



Հենրիկ Դանիելյան



Հառություն Գաբուզյան

## Ավարտական աշխատանքներ

Նախագծի շրջանակներում խմբի 3 երիտասարդ կատարողներն իրականացրել են բակալավրի ավարտական աշխատանքներ հետևյալ թեմաներով (2025թ).

- Տիգրան Պետրոսյան, «Տաք բազմաբաղադրիչ աստղաֆիզիկական պլազմայի էլեկտրահղորդականությունը Բոլցմանի հավասարումից»
- Հենրիկ Դանիելյան, «Ջերմաէլեկտրական երևույթները մագնիսացված նեյտրոնային աստղի ներքին պատյանում»
- Հարություն Գաբուզյան, «Տաք քվարկային նյութի ջերմաէլեկտրական տեղափոխման գործակիցների հաշվարկը Կուբոյի բանաձևերով»

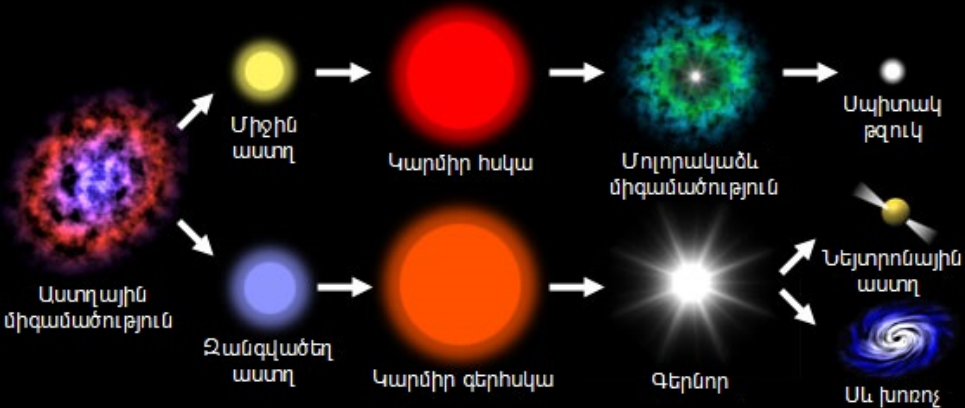
Բոլոր աշխատանքները գնահատվել են գերազանց: Նշված աշխատանքները բանավոր գեկույցներով ներկայացվել են նաև միջազգային երկու գիտաժողովում.

- *“The Modern Physics of Compact Stars and Relativistic Gravity 2025”*, 23-26 սեպտեմբերի, 2025, ԵՊՀ, Հայաստան
- *The WE Heraeus Physics School and the 62nd Karpacz Winter School in Theoretical Physics “Multimessenger Astrophysics and Cosmology”*, 1-6 մարտի, 2026, Կարպաչ, Լեհաստան

Ստացված գիտական արդյունքներն ամբողջովին նոր են և խիստ արդիական են կոմպակտ աստղերի ֆիզիկայի և բարձր էներգիաների ֆիզիկայի բնագավառում:

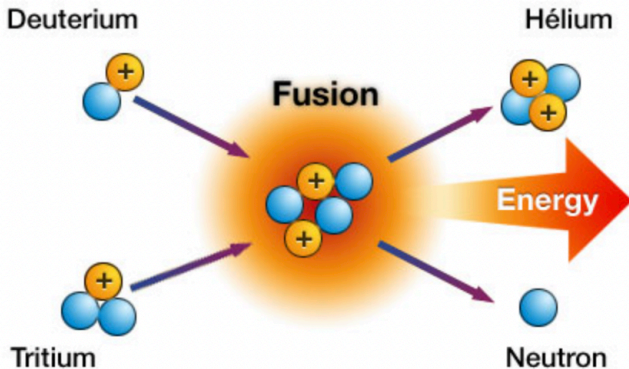
- T. Petrosyan, A. Harutyunyan, A. Sedrakian,  
*Impact of positrons on electrical conductivity of hot and dense astrophysical plasma.*  
*Phys. Rev. D* **113**, 063032 (2026); [arXiv:2512.01044 \[astro-ph.HE\]](#).
- H. Gabuzyan, A. Harutyunyan, A. Sedrakian,  
*Thermoelectric coefficients of two-flavor quark matter from the Kubo formalism.*  
*Phys. Rev. D* **113**, 034023 (2026); [arXiv:2512.02602 \[nucl-th\]](#).
- M. Alford, A. Harutyunyan, A. Sedrakian, S. Tsiopelas,  
*Bulk Viscosity of Two-Flavor Color Superconducting Quark Matter in Neutron Star Mergers.*  
*Front. Astron. Space Sci.* **12**, 1648066 (2025); [arXiv:2506.08144 \[nucl-th\]](#).
- A. Harutyunyan, A. Sedrakian,  
*Generalized relativistic second-order dissipative hydrodynamics: coupling different rank tensors.*  
*Annals of Physics* **481**, 170159 (2025); [arXiv:2503.18839 \[nucl-th\]](#).
- A. Harutyunyan, A. Sedrakian,  
*Thermal Conductivity and Thermal Hall Effect in Dense Electron-Ion Plasma.*  
*Particles* **7**(4), 967-984 (2024); [arXiv:2409.01304 \[astro-ph.HE\]](#).

# Աստղային էվոլյուցիայի փուլերը



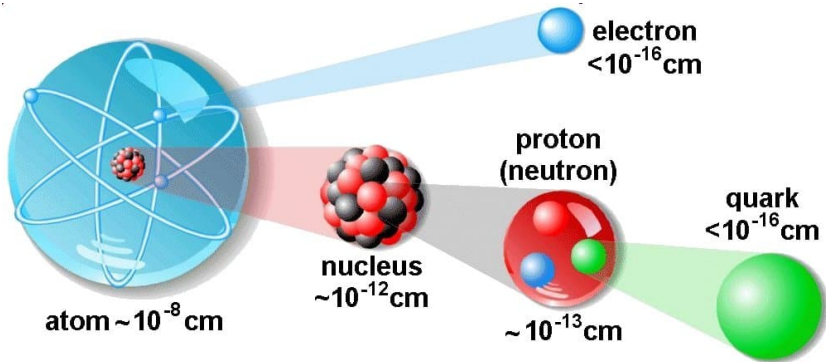
Կոմպակտ աստղերն առաջանում են զանգվածեղ աստղերի գրավիտացիոն կոլապսի արդյունքում՝ ջերմամիջուկային վառելիքի այրումից հետո:

## Ջերմամիջուկային ռեակցիաներ



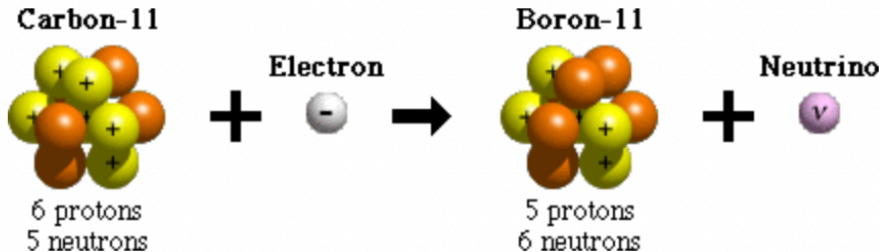
- Ջերմամիջուկային ռեակցիաների շնորհիվ թեթև միջուկներից սինթեզվում են ծանր միջուկներ:
- Անջատված ջերմային էներգիայի ճնշումը հակակշռում է աստղի գրավիտացիոն ձգողությանը:

## Գերխիտ նյութը նեյտրոնային աստղերում (ՆԱ)



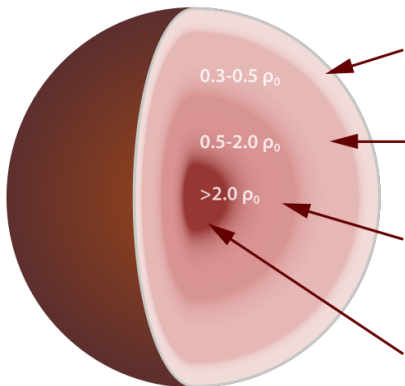
- ՆԱ տիեզերքի ամենախիտ օբյեկտներն են:
- ՆԱ ընդերքում նյութի միջին խտությունը  $\approx 10^{15}$  գ/սմ<sup>3</sup> է:
- ՆԱ նյութի մեկ բաժակը կշռում է Սևանա լճի չափ:

## Նյութի նեյտրոնիզացիան



- Գերխիտ նյութում պրոտոնները զավթում են էլեկտրոններին և վերածվում նեյտրոնների:
- Այդ պատճառով էլ գերխիտ նյութի բաղադրության 90%-ը նեյտրոններ են  $\Rightarrow$  նեյտրոնային աստղեր
- Նեյտրինոները լքում են աստղը՝ իրենց հետ տանելով ջերմային էներգիայի մեծ մասը:

## Նեյտրոնային աստղի կառուցվածքը



Արտաքին պատյան, 0.3-0.5 կմ  
Իոններ, էլեկտրոններ

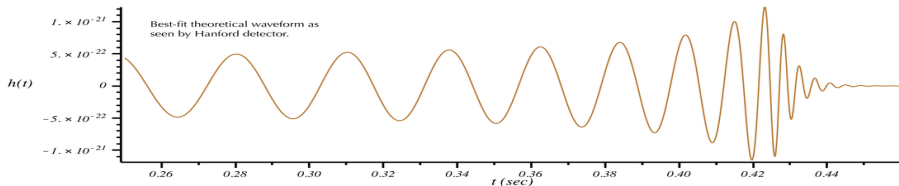
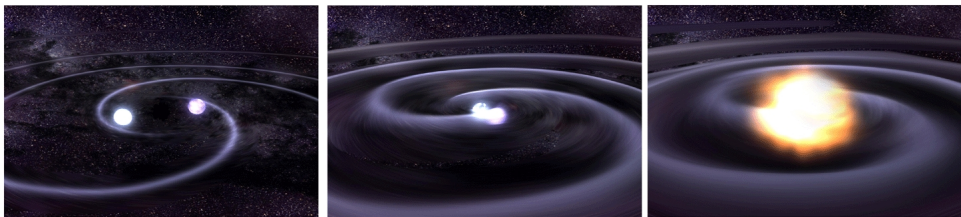
Ներքին պատյան, 1-2 կմ  
էլեկտրոններ, նեյտրոններ, միջուկներ

Արտաքին միջուկ, մոտ 9 կմ  
Նեյտրոն-պրոտոնային Ֆերմի-հեղուկ  
Փոքր %-ը՝ էլեկտրոնային Ֆերմի-գազ

Ներքին միջուկ, 0-3 կմ  
Քվարկ-գլյուոնային պլազմա?

- ՆԱ ունեն մոտ 1-2 արեգակնային զանգված:
- ՆԱ չափերը մոտ են Երևանի չափերին.  $R \sim 10$  կմ:

# Կրկնակի նեյտրոնային աստղեր



- ՆԱ-երը կարող են կազմել կրկնակի համակարգեր և պտտվել ընդհանուր ծանրության կենտրոնի շուրջը՝ ճառագայթելով գրավիտացիոն ալիքներ:
- Ալիքային ազդանշանը կարևոր տեղեկություններ է պարունակում գերխիտ նյութի հատկությունների վերաբերյալ:
- Աստղերի միաձուլումից հետո ալիքային ազդանշանը սկսում է մարել նյութի մածուցիկության պատճառով:

## Տեղափոխման երևույթները նեյտրոնային աստղերում

- Նեյտրոնային աստղերը բնական լաբորատորիաներ են, որոնց ընդերքում ուժեղ փոխազդող նյութը դրսևորվում է ամենից խիտ և էկզոտիկ ձևերով:
- ՆԱ-երում ընթացող բազմաթիվ ֆիզիկական պրոցեսներ նկարագրվում են հիդրոդինամիկայի շրջանակներում, որտեղ տեղափոխման գործակիցները խաղում են առանցքային դեր:
- Հատկապես կարևոր են տեղափոխման հետևյալ գործակիցները.
  - էլեկտրահաղորդականություն (մագնիսական դաշտեր)
  - Ջերմահաղորդականություն (աստղի սառեցում)
  - Մածուցիկություն (խտության բաբախումների մարում)
- Լավ ուսումնասիրված են սառը ՆԱ-երի տեղափոխման գործակիցները:
- Կրկնակի ՆԱ-երի միաձուլումն արդյունքում առաջանում է տաք նյութ, որի տեղափոխման գործակիցները մեր ուսումնասիրության առարկան են:

### Ստորև կներկայացվեն հետևյալ աշխատանքների արդյունքները.

- **Պոզիտրոնների ներդրումը** ՆԱ պատյանի էլեկտրահաղորդականության մեջ
- **Ջերմաէլեկտրական երևույթները** տաք միաձուլվող ՆԱ-երում
- **Մածուցիկությունը** ՆԱ-երի քվարկային կորիզներում և դրա ազդեցությունը միաձուլվող ՆԱ խտության տատանումների վրա

# Պատյանի պլազմայի փուլային դիագրամը

Նյութի փուլային կառուցվածքը որոշվում է հետևյալ մեծություններով.

- Կուլոնյան ջերմաստիճան

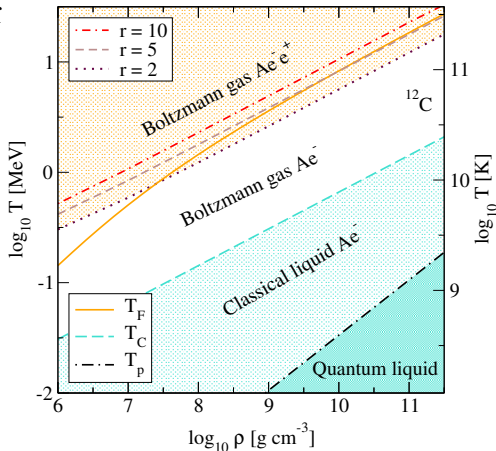
$$T_C = \frac{Z^2 e^2}{a_i}$$

- Պլազմային ջերմաստիճան

$$T_p = \sqrt{\frac{4\pi n_i Z^2 e^2}{M}}$$

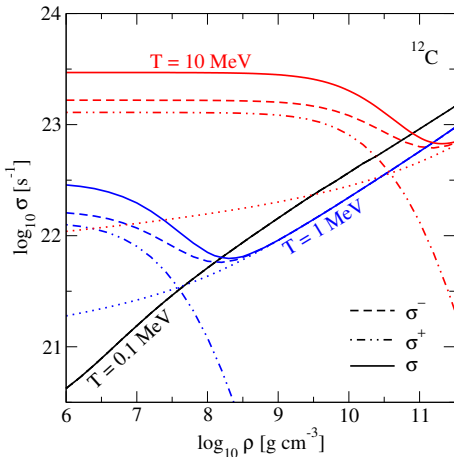
- Ֆերմիի ջերմաստիճան

$$T_F = \sqrt{p_F^2 + m^2} - m$$



Պոզիտրոնների ներդրումը դառնում է կարևոր վերին ստավերագծված տիրույթում:

# Էլեկտրահաղորդականություն



- **Սառը նյութում** պոզիտրոնների ներդրումն անհետանում է, և հաղորդականությունն աճում է ավելի վաղ ստացված  $\sigma \propto \rho^{0.5}$  օրենքի համաձայն:

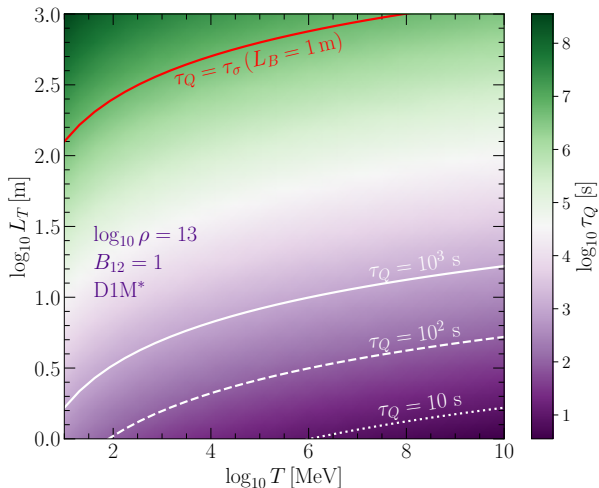
- **Տաք նյութում** պոզիտրոնները որակապես փոխում են հաղորդականության վարքը, որը ձգտում է **հաստատունի**:

- Արդյունքում հաղորդականությունը **ցուցաբերում է մինիմումի կետ** նշված երկու ռեժիմների միջև անցման  $T^* \approx T_F/3$  կետում:

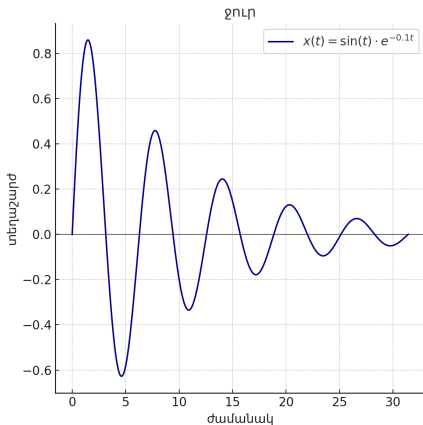
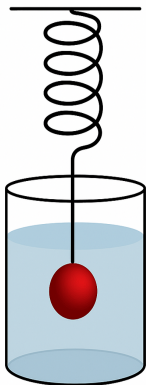
Հիշենք, որ Արեգակի կենտրոնում ջերմաստիճանը  $1.5 \cdot 10^7$  Կ է (1 ՄԷՎ  $\approx 10^{10}$  Կ):

# Ջերմաէլեկտրական երևույթներ

Մանուշակագույն տիրույթներում ջերմաէլեկտրական երևույթները կարևոր են միաձուլվող կրկնակի աստղերի մագնիսական դաշտերի էվոլյուցիայի համար:

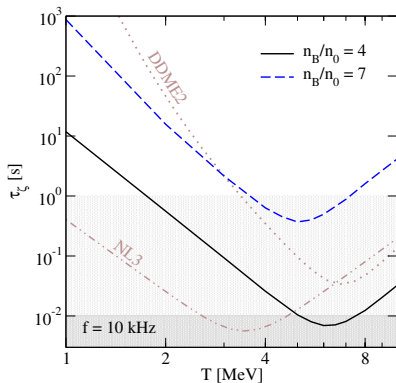
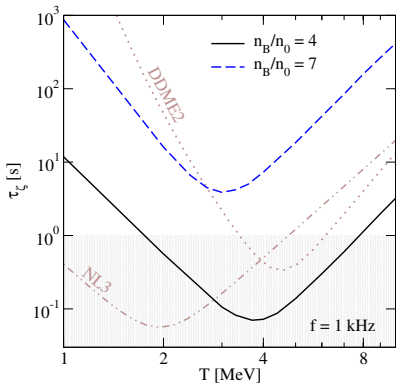


# Մարդ տատանումներ



Չափելով տատանումների մարման գործակիցը՝ կարող ենք հաշվել միջավայրի մածուցիկությունը, որը պատկերացում է տալիս նյութի բաղադրության մասին:

# Միաձուլվող ՆԱ-երում խտության տատանումների մարումը



- Տատանումների արագ մարում չափավոր խտություններում բարձր հաճախականությունների տիրույթում  $f \sim 10$  kHz
- Տարբեր կրիտիկական ջերմաստիճաններ բարիոնային և քվարկային կորիզների դեպքում  $\Rightarrow$   
դիտողական տվյալներից կարելի է դատել ՆԱ-ի բաղադրության մասին

# ՇՆՈՐՀԱԿԱԼՈՒԹՅՈՒՆ