

Temná hmota

J. Pohanka*

FJFI ČVUT, Brěhová 7, 115 19, Praha 1

*jpohanka@gmail.com

Abstrakt

Moja práca sa zaoberá teóriou temnej hmoty ako možnou odpoveďou na súčasné problémy a nevysvetlené javy v astrofyzike súvisiace s rotačnou rýchlosťou galaxií a anizotropiou kozmického reliktového žiarenia. Zároveň ju porovnávam s alternatívnymi teóriami gravitácie, čo je zhrnuté vo forme počítačovej simulácie rotácie galaxie podľa jednotlivých teórií.

1 História temnej hmoty

Termín „temná hmota“ prvýkrát vyslovil v roku 1934 vynikajúci švajčiarsky fyzik bulharského pôvodu Fritz Zwicky ako príčinu rotačných rýchlostí galaxií. Aplikoval vetu o viriále na zhluk galaxií Coma a získal dôkaz prítomnosti neviditeľnej hmoty. Zwicky porovnal odhadnuté množstvo hmoty s viditeľným množstvom a zistil že v danom zhľuku sa nachádza približne 400 - krát viac hmoty, než je pozorovateľné. Z toho usúdil, že musí existovať akási forma hmoty, ktorá drží celý zhluk pohromade. Po Zwickyových pozorovaniach zostala jeho teória nepovšimnutá po vyše 40 rokov. Teória neviditeľnej hmoty sa opäť dostala do pozornosti v súvislosti s pozorovaniami Věry Rubinovej, ktorá zistila, že väčšina hviezd v galaxií rotuje zhruba rovankourýchlosťou. Následne mnoho ďalších astronómov začalo spolupodielat' na jej výskume a čoskoro bolo známe, že väčšina galaxií je obsiahnutá touto „temnou hmotou“.

2 Teórie temnej hmoty

Od čias vzniku teórie temnej hmoty vzniklo jej variantov líšiacich sa v zložení a v povahe temnej hmoty. Historicky sa teórie rozdelili do 2 hlavných skupín : baryonická a nebaryonická. Nebaryonická sa ďalej delí na :

- Horúca temná hmota (HDM – Hot dark matter)
- Teplá temná hmota (WDM – Warm dark matter)
- Studená temná hmota (CDM – Cold dark matter)

2.1 Baryonická temná hmota

Je špecifická forma hmoty obsahujúca výlučne baryóny. Kandidátmi pre baryonickú temnú hmotu sú neluminárne plyny, hnedí trpezlívci masívne astrofyzikálne kompaktné halové objekty (MA-CHO) apod. Odhady celkového množstva baryonickej temnej hmoty sa môžu zistiť zo syntézy nukleónov vo Veľkom tresku a pozorovaní kozmického reliktového žiarenia.

2.2 Nebaryonická temná hmota

Zložená prevažne z axiónov, neutrín a WIMP-ov (slabo interagujúce masívne častice, vrátane neutralínov).

2.2.1 Horúca temná hmota

Hypotetická forma hmoty skladajúca sa z častíc pohybujúcich sa ultrarelativistickou rýchlosťou. Najväčším kandidátom je neutríno, interagujúce so slabou a gravitačnou silou. Horúca temná hmota nedokáže vysvetliť ako sa jednotlivé galaxie formovali od veľkého tresku. Mikrovlnné reliktové žiarenie namerané satelitom COBE má hľadáky tvar a rýchlo sa pohybujúce častice sa nemôžu zhlukovať v takýchto malých škálach od počiatočného zhluku. Na vysvetlenie malých štruktúr vo vesmíre je nevyhnutné použiť aj teplú a studenú temnú hmotu. Preto sa v súčasnej dobe horúca temná hmota pripúšťa ako časť zmiešanej temnej hmoty.

2.2.2 Teplá temná hmota

Teoretická forma hmoty, ktorá má vlastnosti horúcej a studenej temnej hmoty. Formovanie štruktúr vysvetľuje pomocou hierarchistického rastu a zároveň fragmentácie. Kandidátmi na jej častice sú sterilné neutrína a gravitína.

2.2.3 Studená temná hmota

Teória originálne publikovaná v roku 1984 fyzikmi J.R.Primackom, G. Blumenthal a S.M. Faberovou. V tejto teórii štruktúry rastú hierarchicky s malými objektmi najprv kolabujúcimi a potom spájajúcimi sa v omnoho masívnejšie objekty. Tu je zásadný rozdiel medzi horúcou a studenou temnou hmotou. V teórii horúcej temnej hmoty sa štruktúry neformujú hierarchicky, ale fragmentovaním. Predpovede horúcej temnej hmoty silno nesúhlasia s pozorovaniami, zatiaľ čo predpovede studenej temnej hmoty sú vo všeobecnom súhlase s pozorovaním. Zároveň neposkytuje žiadne bližšie informácie z akých častíc by sa mala táto hmota skladať. Podobne ako v prípade horúcej temnej hmoty sú kandidátmi WIMP-y, axióny a MACHO objekty.

3 Alternatívne teórie

Popri teórii o temnej hmote sa vyvinuli aj alternatívne teórie majúce za účel objasniť dané nevysvetlené javy. Medzi ne patrí MOND (Modified Newtonian Dynamics), TeVeS (Tensor-Vector-Scalar gravity) a STVG (Scalar-Tensor-Vector Gravity).

3.1 MOND

Vytvorená Mordehaiom Milgromom ako spôsob modelovania rotačných rýchlostí galaxií. Podľa tejto teórie zrýchlenie nie je lineárne závislé od sily pri nízkych hodnotách. Tým pádom každý fyzikálny proces zahrňujúci malé zrýchlenia spôsobené gravitáciou bude mať rozdielny priebeh, než ten predpovedaný Newtonovým zákonom. MOND bola úspešne aplikovaná na špeciálnu triedu objektov - LSB (Low Surface Brightness) galaxie. Priebeh rotačných kriviek predpovedaných MOND-om a pozorovaných súhlasí vo väčšine prípadov LSB galaxií. Avšak veľkým nedostatkom teórie je, že nedodržiava zákon zachovania hybnosti .

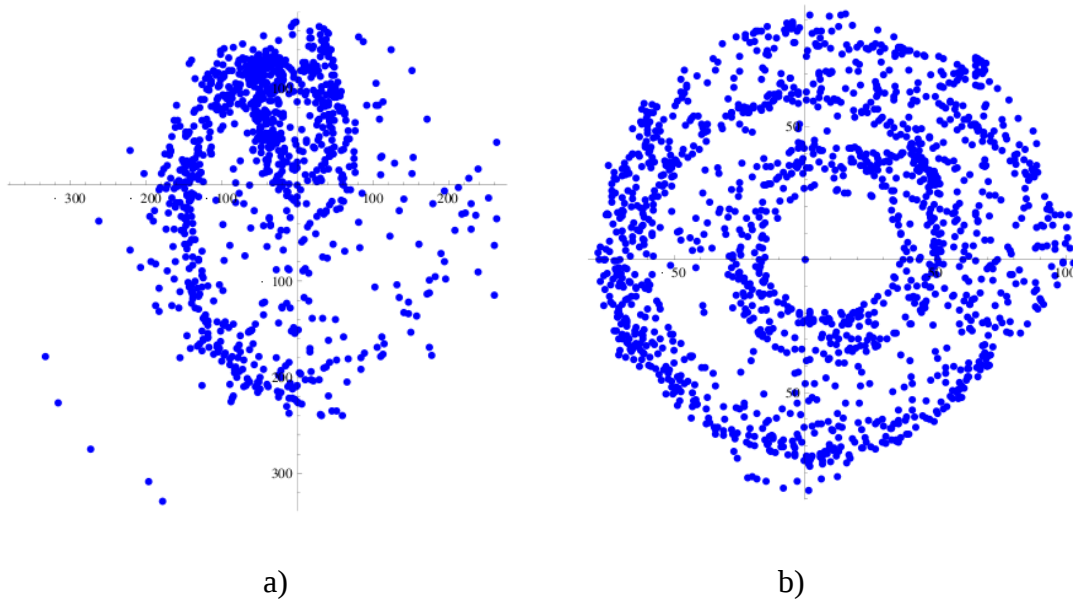
3.2 TeVeS

Je relativistické zovšeobecnenie MOND-u vyvinuté Jacobom Bekensteinom. Je odvodená od Hamiltonovho princípu minimálnej akcie, na rozdiel od MOND-u dodržiava zákony zachovania. Zá-

roveň nepredpovedá superluminárnu propagáciu ako predchádzajúce zovšeobecnené teórie modifikovanej dynamiky. Teoretické predpovede tvarov rotačných kriviek galaxií súhlasia vo veľkej väčšine prípadov. Je konzistentná aj s efektami všeobecnej teórie relativity, ako napríklad gravitačné šošovky. Nedávno však zistila nekompatibilita s pozorovaniami vo väčších kozmologických škálach.

3.2 STVG

Teória založená na Hamiltonovom princípe stacionárnej akcie postuluje existenciu vektorového poľa, ktoré vytvára na krátke vzdialenosti repulzívnu piatu silu. Zároveň gravitácia je silnejšia pri väčších vzdialenostiach, než predpokladá newtonovská gravitácia. STVG bola, podobne ako TeVeS, úspešná pri vysvetlení tvaru rotačných kriviek galaktických diskov a navyiac i pri zhlukoch galaxií. Je kompatibilná so všeobecnou teóriou relativity, rozloženia a anizotropie reliktového žiarenia. K objasneniu výsledkov kozmických pozorovaní nepotrebuje existenciu temnej energie. Teória poskytuje možnosť vysvetliť pôvod zotrvačnosti. Modifikuje Newtonovu gravitačnú silu.



Obr.1 – simulácia rotácie galaxie a) pomocou klasickej teórie, b) s využitím STVG

4 Záver

Z porovnaní daných teórií vyplýva fakt, že ani jedna z nich není dôležitejšia, správnejšia ako tie zvyšné. Každá z nich vysvetľuje špecifický súbor fenoménov, ktoré vedeckou obcou prijaté teórie nedokážu objasniť. Preto by sa mala každá z nich ďalej vyvíjať a až ďalšie merania potvrdia ich správnosť. Zo simulácií a porovnaní klasickej gravitácie a STVG vyplýva fakt, že tvar a rotačné rýchlosti galaxie v prípade STVG sú silne ovplyvnené danou repulzívnu silou, čo sa vizusálne potvrdilo na ich tvare.

Referencie

- [1] *I. Štoll, Mechanika, skriptum ČVUT, Praha 2003*
- [2] *J. W. Moffat, Scalar-Tensor-Vector Gravity Theory, arxiv:gr-qc/0506021*
- [3] *J. W. Moffat, J. R. Brownstein, Galaxy Rotation Curves Without Non-Baryonic Dark Matter, arxiv:astro-ph/0506370*
- [4] *J. W. Moffat, V. T. Toth, Testing Modified Gravity with globular cluster velocity dispersions, arxiv:0708.1935*
- [5] *J. W. Moffat, V. T. Toth, Fundamental parameter-free solutions in Modified Gravity, arxiv:0712.1796*
- [6] *E. van Kampen, Galaxy formation in dissipationless N-body models, arxiv:astro-ph/9904270*