

P. Góralski  
**CIEMNA MATERIA?  
 SUPERMASYWNE CZARNE DZIURY?  
 MOND?**

a  
**KRZYWE ROTACJI GALAKTYK**

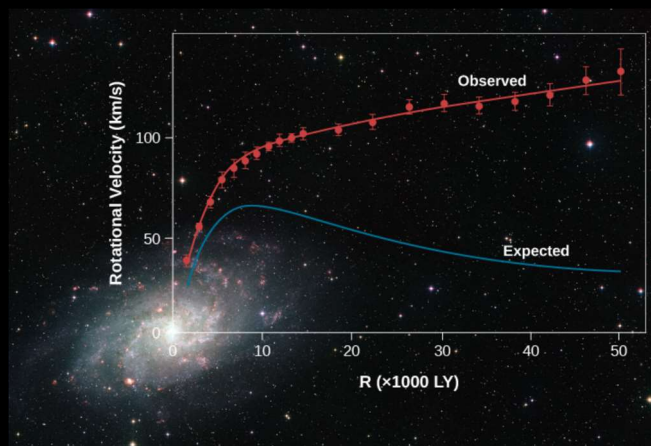
**CIEMNA MATERIA?**

dark matter? темная материя? 暗物質?  
 matière sombre? ¿,materia oscura? қараңғы материя?  
 σκοτεινή ύλη? matéria escura? тёмная матэрыя?  
 mørkt stof? тамна материја? mørk materie? темна матерія?  
 materia oscura? المادة المظلمة? temná hmota? тьмна материя?  
 tamsioji medžiaga? sötét anyag? ბნელი მატერია? ダークマター?  
 dunkle Materie? ماده تاریک? काला पदार्थ? ?למא חפץ? materie întunecată?



damhna dorcha? vật chất tối? karanlık madde? tamna tvar? අඳුරු කාරණයක්?  
 இருண்ட விஷயம்? materia ilun? tumšā matērija? matèria fosca?  
 hulduefni? materi gelap? 암흑물질 pimeä aine? donkere materie?  
 tumeaine? ಡಾರ್ಕ್ ಮ್ಯಾಟರ್? donkel Matière? materi peteng?  
 materia oscura? mørk materie? ଶୂନ୍ୟମାତ୍ର? materi gelap?  
 jirim gelap? कृष्णद्रव्य म्हणजे? qaranlıq materiya?  
 materja skura? ਹਨੇਰ ਪਦਾਰਥ?  
 malluma materio?

**DARK MATTER?  
 SUPERMASSIVE  
 BLACK HOLES?  
 MOND?  
 and  
 GALACTIC ROTATION**



**ТЁМНАЯ МАТЕРИЯ?  
 СВЕРХМАССИВНЫЕ  
 ЧЁРНЫЕ ДЫРЫ?  
 MOND?  
 a  
 ГАЛАКТИЧЕСКИЕ  
 КРИВЫЕ ВРАЩЕНИЯ**

CZYM MOŻE BYĆ CIEMNA MATERIA?

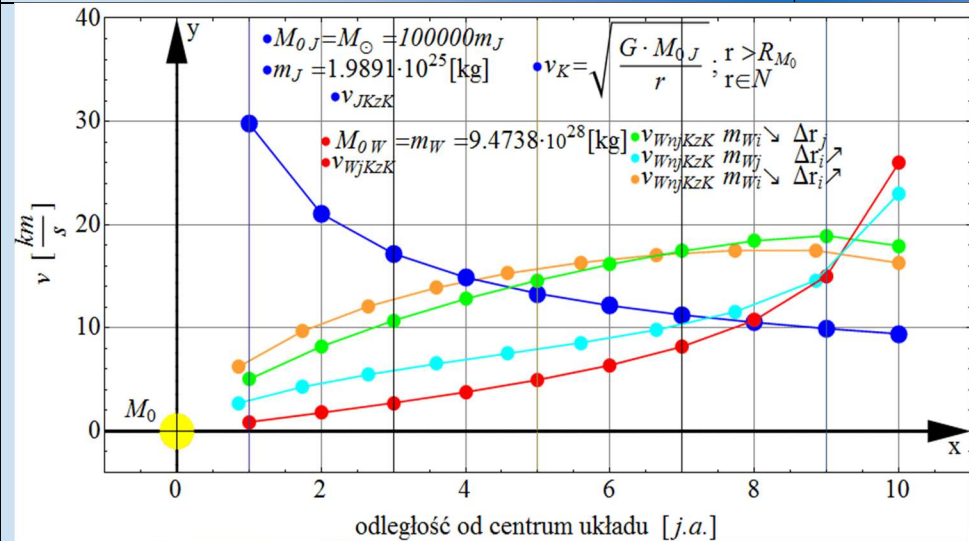
1. jakąś nieznaną formą materii – WIMP-y?,  
Czy pod pojęciem *ciemna materia* może kryje się:
2. fikcyjna materia, wybieg matematyczny, coś w rodzaju epicykli, ekwantów i deferentów w teorii geocentrycznej Ptolemeusza, żeby wyjaśnić wsteczny ruch Marsa i innych planet zewnętrznych Układu Słonecznego?,  
Czy może problem *ciemnej materii* wynika z:
3. błędnego założenia typu krzywych rotacji galaktyk?
4. błędnej metody obliczania masy galaktyk?
5. błędnego prawa powszechnego ciążenia Isaaca Newtona - teorie MOND?
6. *A może ciemna materia i ciemna energia nie istnieją?, jak sugeruje Adam Riees,*  
„Czym więc jest ta podstawowa rzecz? Czy mamy jakieś wskazówki? Zależy, kogo o to spytamy. Adam Riees, człowiek, którego radykalna, pełna patosu retoryka zapoczątkowała erę ciemnej energii, sugeruje coś dającego do myślenia. Co, jeśli nie wiemy jeszcze wszystkiego o działaniu grawitacji? Może ciemna materia i ciemna energia nie istnieją? Może przez ostatnie cztery stulecia byliśmy ślepi na drobne nieścisłości Newtonowskiego prawa przyciągania, które są być może kluczem do odzyskania zaginionego wszechświata.” [3, s. 54]

Na wszystkie powyższe pytania i wiele innych znajdzie Czytelnik odpowiedzi w tej książce.

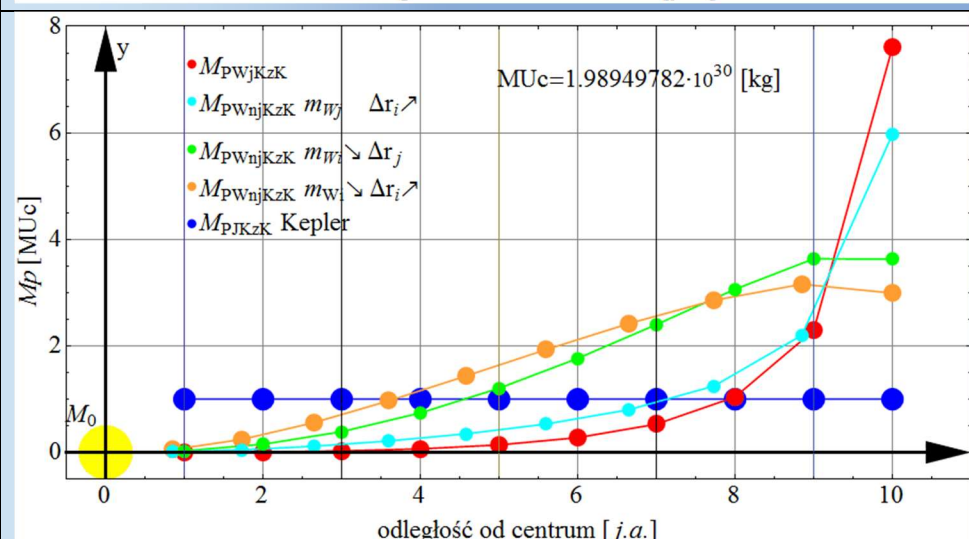
KLASYFIKACJA UKŁADÓW CIAŁ NIEBIESKICH ZWIĄZANYCH GRAWITACYJNIE.

Klasyfikacja wprowadzona przez autora

<p><b>UKŁADY Z JEDNOKUPTOWYM DOMINUJĄCYM ŹRÓDŁEM GRAWITACJI</b> W skrócie nazywane <b>UKŁADY JEDNOKUPTOWE, JEDNOŹRÓDŁOWE UKŁADY KEPLEROWSKIE</b> OZNACZENIE: TYP J</p>	<p><b>UKŁADY Z WIELOKUPTOWYMI, RÓWNORZĘDNYMI i ROZPROSZONYMI ŹRÓDŁAMI GRAWITACJI</b> W skrócie nazywane <b>UKŁADY WIELOŹRÓDŁOWE, ROZPROSZONE GALAKTYKI</b> OZNACZENIE: TYP W</p>
<p>ELEMENTY UKŁADU: CIAŁA SFERYCZNE JEDNORODNE O MASIE UKŁADÓW J DECYDUJE CIAŁO DOMINUJĄCE Jedno i tylko jedno ciało może mieć masę setki razy większą od sumy mas pozostałych ciał układu wraz z ich księżycami.</p>	<p>ELEMENTY UKŁADU: CIAŁA SFERYCZNE JEDNORODNE MASY UKŁADÓW W SIĘGAJĄ SETEK MLD MAS SŁOŃCA Ciała mogą mieć różne masy. Masa całego układu musi być setki razy większa od najmasywniejszego ciała lub lokalnego układu ciał.</p>
<p>PRZYKŁADY: 1. SŁOŃCE I PLANETY, 2. PLANETY I ICH KSIĘŻYCE: np. JOWISZ, SATURN, URAN, NEPTUN, MARS.</p>	<p>PRZYKŁADY: 1. GLAKTYKI RÓŻNORODNE TYPU, 2. GROMADY GWIAZD, 3. MGŁAWICE.</p>
<p>KRZYWE ROTACJI: KEPLEROWSKIE</p>	<p>KRZYWE ROTACJI: NIE KEPLEROWSKIE. zależą od liczebności, kształtu układu i radialnego rozkładu masy.</p>



**KRZYWE ROTACJI WIRTUALNYCH UKŁADÓW SŁONECZNYCH**  
**KEPLEROWSKIEGO – typu J**  
typu W jednorodnego, typu W, W i W niejednorodnego.  
Oznaczenia na rysunku, masa:  $m_{wi}$  maleje liniowo,  $m_{wi}$  – stała, Odległości:  $r_{wi}$  rosną liniowo,  $r_{wi}$  – stałe;  $i=\{1 \div 10\}$ ,  $i \in \mathbb{N}$ .  
Na rysunku pokazano prędkości orbitalne pięciu wirtualnych modeli Układu Słonecznego: 1 typu J i 4 typu W - 1 jednorodny i 3 niejednorodny. Wszystkie układy składają się z ciała centralnego  $M_0$  i 20 planet ułożonych symetrycznie po 10 po obu stronach  $M_0$ . Sumaryczna masa układu J i wszystkich W jest taka sama i wynosi  $1,00020 \cdot M_{\odot}$ . Odległości pomiędzy środkami wszystkich ciał, w chwili początkowej  $t_0$ , wynoszą  $|I| [j.a.]$  dla J, W i W. Dla układu J,  $M_0$  ma masę Słońca, a planety mają po  $0,00001$  masy Słońca każda. Dla W wszystkie ciała układu mają jednakową masę  $1,00020/21$  masy Słońca. Dla układów niejednorodnych W i W masa maleje, a odległość rośnie, tak jak zaznaczono na rysunku, symetrycznie, po obu stronach Słońca, wraz z odległością od  $M_0$ . Gdyby nasz Układ Słoneczny był typu W, to nie byłoby praw Keplera w postaci takiej, jakiej je znamy.



Grawitacyjna masa pozorna jest sumą masy rzeczywistej i masy urojonej. Masa urojona może być ujemna. Opis w dalszym tekście.  
Grawitacyjne masy pozorne jednorodnych ciał sferycznych, jakie powinny być w centrum wirtualnych Układów Słonecznych, żeby dana planeta obiegła Słońce po określonej orbicie kołowej. Dla typu J masa pozorna  $M_p$  jest podana w masach Słońca, a dla wszystkich W w masach całego układu MUC. Masa rzeczywista w centrum jednorodnego i niejednorodnego układu W i W wynosi  $1,894571 \cdot 10^{29}$  [kg]. Grawitacyjne masy pozorne dla każdego typu układu i każdej planety podane są w Tabeli W.2. na str. 16.  
Dla układu typu J masa pozorna jest w dużym przybliżeniu równa masie rzeczywistej. Maksymalna masa pozorna jest dla planet na ostatniej orbicie i wynosi  $1,58616 \%$   $M_{\odot}$ . Dla układów typu W największa masa pozorna jest dla planet na ostatniej orbicie układu jednorodnego i wynosi  $7,600777 \cdot M_{uc}$  (całkowitej masy układu). Dla planet od 1 do 3 orbity masa pozorna jest mniejsza od masy rzeczywistej, jaka znajduje się w centrum układu...  
Gdyby istniała ciemna materia, to w układach typu W zwiększała by ona ilość masy pozornej i nadal trzeba by poszukiwać nowej ciemnej materii w ilościach kilkakrotnie większych niż w chwili obecnej.  
**CIEMNA MATERIA może być odpowiednikiem grawitacyjnej masy urojonej, która „znajduje” się w centrum układu!!!**

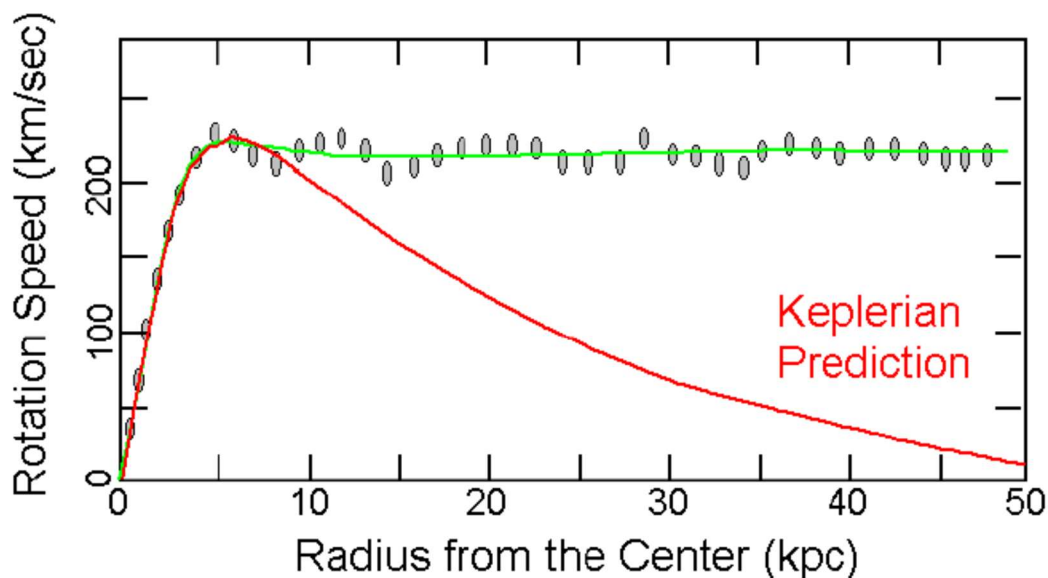
P. Góralski

# CIEMNA MATERIA? SUPERMASYWNE CZARNE DZIURY? MOND? a KRZYWE ROTACJI GALAKTYK

Prawa natury są za proste, żeby je pojąć,  
im prostsze tym trudniej je zrozumieć.

Popularny obrazek dowodzący istnienia Ciemnej  
Materii wokół naszej Galaktyki

Observed vs. Predicted Keplerian



## *Ciemna Materia – prawda czy mit?*

*Jacek Krelowski* Center for Astronomy Nicolaus Copernicus University Toruń, Poland

*Andrzej Strobel* PL, *Gazinur Galazutdinov* CL/RUS,

*Faig Musaev* RUS/AZ, *Arkadii Bondar* UA

Źródło: [www.home.umk.pl > ~jacek > ciennamateria > wyk13](http://www.home.umk.pl/~jacek/ciennamateria/wyk13)

**Ciemna Materia – prawda czy mit?**

© Copyright 2012,2015,2018,2021 by M. H. Góralaska, M. M. Góralaska, M. K. Góralaska, P. B. Góralski, P. A. Góralski.

Wszelkie prawa zastrzeżone. Nieautoryzowane rozpowszechnianie całości lub fragmentu niniejszej publikacji, a także ich tłumaczenia w jakiegokolwiek postaci, bez pisemnej zgody, jest zabronione. Wykonywanie kopii metodą kserograficzną, fotograficzną, a także kopiowanie publikacji na nośniku filmowym, magnetycznym lub innym powoduje naruszenie praw autorskich niniejszej publikacji.

**Wszystkie obliczenia numeryczne wykonano w programie**

***Mathematica 4.1 i Mathematica 7***

**ISBN 978-83-962251-0-8**

**WARSZAWA 2021**



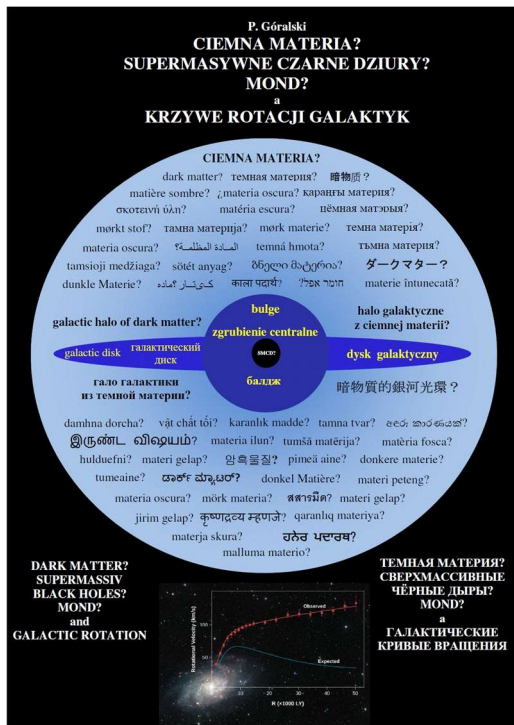
**OKŁADKA – strona 1**

Na okładce przedstawiono widok galaktyki spiralnej ze zgrubieniem centralnym (widzianej z boku), w centrum której znajduje się supermasywna czarna dziura (SMCD). Galaktyka jest zanurzona w sferycznym halo ciemnej materii (zgodnie z obowiązującą teorią).

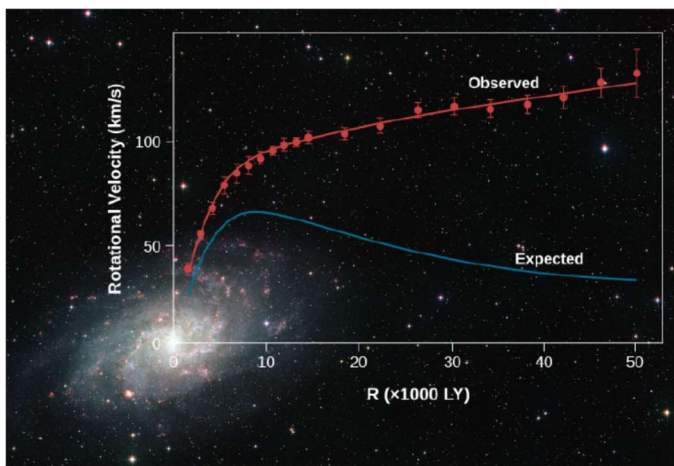
Na tle ciemnej materii naniesiono napisy "ciemna materia?" w kilkudziesięciu językach.

Na dole okładki umieszczono krzywą rotacji galaktyki spiralnej - rysunek z pracy

Fraknoi Andrew, Morrison David, Wolff Sidney C.: *Astronomy*, OpenStax Polska 2016 s.1037.



Projekt okładki wykonany przez Autorów



Source: **Figure 28.23 Rotation Indicates Dark Matter.** We see the Milky Way's sister, the spiral Andromeda galaxy, with a graph that shows the velocity at which stars and clouds of gas orbit the galaxy at different distances from the center (red line). As is true of the Milky Way, the rotational velocity (or orbital speed) does not decrease with distance from the center, which is what you would expect if an assembly of objects rotates around a common center. A calculation (blue line) based on the total mass visible as stars, gas, and dust predicts that the velocity should be much lower at larger distances from the center. The discrepancy between the two curves implies the presence of a halo of massive dark matter extending outside the boundary of the luminous matter. This dark matter causes everything in the galaxy to orbit faster than the observed matter alone could explain. (credit background: modification of work by ESO) [2, s.1037]

**Rysunek 28.23 Obrót wskazuje na ciemną materię.** Wiadimy siostrę Drogi Mlecznej, spiralną galaktykę Anaromedy, z wykresem pokazującym prędkość, z jaką gwiazdy i obłoki gazu krążą wokół galaktyki w różnych odległościach od centrum (czerwona linia). Podobnie jak w przypadku Drogi Mlecznej, prędkość obrotowa (lub prędkość orbitalna) nie zmniejsza się wraz z odległością od środka, czego można by się spodziewać, gdyby zespół obiektów obracał się wokół wspólnego środka. Obliczenia (niebieska linia) oparte na całkowitej masie widocznej w postaci gwiazd, gazu i pyłu przewidują, że prędkość powinna być znacznie mniejsza w większych odległościach od centrum. Rozbieżność między tymi dwiema krzywymi implikuje obecność halo masywnej ciemnej materii rozciągającej się poza granicę jasnej materii. Ta ciemna materia powoduje, że wszystko w galaktyce krąży szybciej, niż mogłaby to wyjaśnić sama obserwowana materia. (pochodzenie zaliczeniowe: modyfikacja pracy ESO). Źródło: [2, s.1037]

**OKŁADKA - strona 2**

Pytania, na które znajdzie Czytelnik wyczerpujące odpowiedzi w tej książce.

Klasyfikacja układów ciał niebieskich związanych grawitacyjnie i ich krótka charakterystyka

**OKŁADKA - strona 3**

Krzywa rotacji, obliczona *metodą każde z każdym* - KzK i obliczona *metodą punktu materialnego* - MPM wewnątrz, jak i na zewnątrz układu kołowego, a także ich grawitacyjny równoważnik jednorodnej kuli -  $GR_{JK}(r)$  dla jednorodnego układu kołowego o średnicy 5000 [JA] i 22,7 mln jednorodnych sferycznych ciał niebieskich.

**OKŁADKA - strona 4**

Wykres  $GR_{JK}(R_0)$  dla jednorodnych układów kołowych o promieniu  $R_0$  od 1 [AU] do 40.000 [AU] i od 7 do 6,7 mld ( $6,7 \times 10^9$ ) ciał niebieski

**CIEMNA MATERIA? SUPERMASYWNE CZARNE DZIURY? MOND?  
a  
KRZYWE ROTACJI GALAKTYK**

SPIS TREŚCI

STRESZCZENIE.....	7
ABSTRACT .....	8
PEZJOME .....	9
SŁOWNICZEK POJĘĆ.....	10
WSTĘP.....	11
1. GENEZA POWSTANIA PROBLEMU CIEMNEJ MATERII. RYS HISTORYCZNY .....	17
2. PRZEGLĄD ŹRÓDEŁ PISANYCH I WIDEO.....	18
3. PRÓBY ROZWIĄZANIA PŁASKICH KRZYWYCH ROTACJI GALAKTYK SPIRALNYCH .....	44
4. UKŁADY CIAŁ NIEBIESKICH ZWIĄZANYCH GRAWITACYJNIE .....	45
4.1. PRAWA KEPLERA.....	45
4.2. PRAWO POWSZECHNEGO CIĄŻENIA NEWTONA.....	46
4.3. KOŁOWE UKŁADY JEDNORODNYCH CIAŁ SFERYCZNYCH ZWIĄZANYCH GRAWITACYJNIE.....	51
4.4. GRAWITACYJNE RÓWNOWAŻNIKI JEDNORODNEJ KULI, SYMBOL $GR_{JK(0,0,0)}(R)$ .....	58
4.5. LINIOWE UKŁADY JEDNORODNYCH CIAŁ SFERYCZNYCH.....	60
4.5.1. LINIOWE, JEDNORODNE UKŁADY, DWUDZIESTU JEDEN, JEDNORODNYCH CIAŁ SFERYCZNYCH ZWIĄZANYCH GRAWITACYJNIE.....	61
4.5.1.1. MASA GWIAZDY JEST 100.000 RAZY WIĘKSZA OD MASY PLANETY.....	62
4.5.1.2. MASA GWIAZDY JEST 10.000 RAZY WIĘKSZA OD MASY PLANETY.....	64
4.5.1.3. MASA GWIAZDY JEST 1000 RAZY WIĘKSZA OD MASY PLANETY.....	66
4.5.1.4. MASA GWIAZDY JEST 100 RAZY WIĘKSZA OD MASY PLANETY.....	68
4.5.1.5. MASA GWIAZDY JEST 10 RAZY WIĘKSZA OD MASY PLANETY.....	70
4.5.1.6. MASA GWIAZDY JEST RÓWNA MASIE PLANETY .....	72
4.5.1.7. MASA GWIAZDY JEST RÓWNA $10M$ , A MASA PLANET MALEJE W FUNKCJI $R$ .....	74
4.5.2. FOREMNE LINIOWE UKŁADY WIELORAMIENNE .....	76
4.5.2.1. JEDNORODNY UKŁAD LINIOWY PIĘCIORAMIENNY FOREMNY .....	76
4.5.2.2. NIEJEDNORODNE UKŁADY LINIOWE PIĘCIORAMIENNE FOREMNE .....	77
5. PODSUMOWANIE KOŃCOWE .....	80
WYKAZ ŹRÓDEŁ .....	85

## CIEMNA MATERIA? SUPERMASYWNE CZARNE DZIURY? MOND? a KRZYWE ROTACJI GALAKTYK

## STRESZCZENIE

Ciemna materia co to takiego? Według Standardowego Modelu Kosmologicznego  $\Lambda$ CDM, stanowi ok. 26,8% masy Wszechświata. Spędza sen z powiek uczonym. Nazywają ją Świętym Graalem Fizyki a nawet Nauki. Szukają jej wszędzie: w całym Kosmosie, na Ziemi, a nawet pod ziemią. Na jej poszukiwanie wydają miliardy dolarów rocznie. Szukają jej tysiące uczonych na całym świecie. Szukają jej Amerykanie, Rosjanie, Chińczycy, Japończycy, Europejczycy, a nawet Polacy. Poszukuje jej Wielki Zderzacz Hadronów w CERN-e i inne akceleratory na całym świecie. Jak do tej pory nie znaleziono ani jednej cząstki ciemnej materii. Na temat ciemnej materii napisano tysiące publikacji. Pomimo poniesienia i ponoszonych dalej ogromnych kosztów, wszystkie wysiłki poniesione na znalezienie cząstek ciemnej materii zakończyły się fiaskiem.

Tytuł książki brzmi

**”CIEMNA MATERIA? SUPER MASYWNE CZARNE DZIURY? MOND? a krzywe rotacji galaktyk”**

Jaki jest związek **ciemnej materii** z **supermasywnymi czarnymi dziurami** i **MOND?**, a no taki, że wszystkie te pojęcia mają wspólny rodowód, a mianowicie są to **krzywe rotacji galaktyk spiralnych**.

Zadajmy więc sobie pytania:

## CZYM MOŻE BYĆ CIEMNA MATERIA?

1. jakąś nieznaną formą materii – **WIMP-y?** (ang. *Weakly Interacting Massive Particles*, *Słabo Oddziałujące Masywne Cząstki*),

Czy pod pojęciem **ciemna materia** może kryje się:

2. fikcyjna materia, wybieg matematyczny, coś w rodzaju epicykli, ekwantów i deferentów w teorii geocentrycznej Ptolemeusza, żeby wyjaśnić wsteczny ruch Marsa i innych planet zewnętrznych Układu Słonecznego?,

Czy może problem **ciemnej materii** wynika z:

3. błędnego założenia typu krzywych rotacji galaktyk?
4. błędnej metody obliczania masy galaktyk?
5. błędnego prawa powszechnego ciężenia Isaaca Newtona - teorie **MOND?** (*Modified Newtonian Dynamics*, *Modyfikacja Dynamiki Newtona*)
6. **A może ciemna materia i ciemna energia nie istnieją?**, jak sugeruje Adam Riees, „Czym więc jest ta podstawowa rzecz? Czy mamy jakieś wskazówki? Zależy, kogo o to spytamy. Adam Riees, człowiek, którego radykalna, pełna patosu retoryka zapoczątkowała erę ciemnej energii, sugeruje coś dającego do myślenia. Co, jeśli nie wiemy jeszcze wszystkiego o działaniu grawitacji? Może ciemna materia i ciemna energia nie istnieją? Może przez ostatnie cztery stulecia byliśmy ślepi na drobne nieścisłości Newtonowskiego prawa przyciągania, które są być może kluczem do odzyskania zaginionego wszechświata.” [3, s. 54]

Na wszystkie te pytania Czytelnik znajdzie odpowiedź w niniejszej publikacji.

Autor wprowadził nową klasyfikację układów ciał niebieskich związanych grawitacyjnie:

1. układy z dwoma ciałami, rozwiązywalne analitycznie, typ **D**,
2. układy z jednopunktowym dominującym źródłem grawitacji, typ **J** – Układ Słoneczny,
3. układy z wielopunktowymi, równorzędnymi źródłami grawitacji, typ **W** – galaktyki.

Układy te różnią się bardzo znacznie dynamiką. Do układów jednopunktowych możemy stosować prawa Keplera, natomiast stosowanie praw Keplera do układów wielopunktowych prowadzi do poważnych problemów, których skutkiem jest wprowadzenie **ciemnej materii**, **supermasywnych czarnych dziur** i różnych teorii typu **MOND**.

W publikacji niniejszej autor zajmuje się dynamiką układów wielopunktowych. Opracował własne metody obliczania dynamiki tych układów, które znacznie odbiegają od metod stosowanych obecnie do obliczania krzywych rotacji galaktyk i wyznaczania masy rzeczywistej galaktyk.

Gdyby istniała **ciemna materia**, to w układach typu **W** zwiększałaby ona ilość masy urojonej i nadal trzeba by poszukiwać nowej **ciemnej materii** w ilościach znacznie większych niż w chwili obecnej.

**CIEMNĄ MATERIE** można potraktować jako odpowiednik grawitacyjnej masy urojonej, która „znajduje” się w centrum układu, w przeciwieństwie do ciemnej materii, którą umieszcza się w sferycznym halo.

**DARK MATTER? SUPERMASSIVE BLACK HOLES? MOND? and GALACTIC ROTATION****ABSTRACT**

What is dark matter? According to the Standard Cosmological Model,  $\Lambda$ CDM makes up about 26.8% of the mass of the universe. He spends his sleep over the scientist's eyes. They call it the Holy Grail of Physics and even Science. They look for it everywhere: in the entire cosmos, on Earth, and even underground. They spend billions of dollars a year to find it. Thousands of scholars around the world are looking for it. Americans, Russians, Chinese, Japanese, Europeans and even Poles are looking for it. The Large Hadron Collider at CERN and other accelerators around the world are looking for it. So far, not a single dark matter particle has been found. Thousands of publications have been written about dark matter. Despite the enormous costs incurred and continued, all efforts made to find dark matter particles were unsuccessful.

The title of the book is

**"DARK MATTER? SUPER MASSIVE BLACK HOLES? MOND? and the curves of the rotation of galaxies"**

What is the relationship of dark matter with supermassive black holes and MOND? Well, that all of these concepts have a common lineage, namely the rotation curves of spiral galaxies.

So let's ask ourselves the following questions:

**WHAT CAN DARK MATTER BE?**

1. some unknown form of matter - **WIMPs?** (Weakly Interacting Massive Particles),

Can the term **dark matter** mean:

2. Fictional matter, a mathematical trick, something like epicycles, equants and deferents in Ptolemy's geocentric theory to explain the retrograde motion of Mars and other outer planets of the solar system?

Or maybe the **dark matter** problem is due to:

3. wrong assumption of the type of galaxy rotation curves?
4. wrong method of calculating the mass of galaxies?
5. Isaac Newton's erroneous law of universal gravitation - **MOND** theories? (Modified Newtonian Dynamics, Modified Newtonian Dynamics)
6. Or maybe dark matter and dark energy do not exist? As suggested by Adam Riees, "So what is this essential thing? Do we have any tips? It depends who we ask about it. Adam Riees, a man whose radical, pathosic rhetoric ushered in the era of dark energy, suggests something food for thought. What if we don't know everything about how gravity works? Maybe dark matter and dark energy don't exist? Perhaps for the past four centuries we have been blind to the slight inaccuracies of Newton's law of attraction, which are perhaps the key to reclaiming the lost universe. " [3, p. 54] The Reader will find the answer to all these questions in this publication.

The author introduced a new classification of systems of celestial bodies bound by gravity:

1. two-body systems, analytically solvable, type **D**,
2. systems with a single-point dominant source of gravity, type **J - Solar System**,
3. systems with multi-point, equal sources of gravity, type **W - galaxies**.

These systems differ greatly in dynamics. We can apply Kepler's laws to single point systems, while applying Kepler's laws to multipoint systems leads to serious problems that result in the introduction of **dark matter**, **supermassive black holes** and various **MOND** theories.

In this publication, the author deals with the dynamics of multi-point systems. He developed his own methods for calculating the dynamics of these systems, which differ significantly from the methods currently used to calculate galaxy rotation curves and to determine the actual mass of galaxies.

If there were **dark matter**, in **W**-type systems it would increase the amount of imaginary mass and you would still have to search for new dark matter in amounts much larger than at present.

**DARK MATTER can be thought of as equivalent to the gravitational imaginary mass that "is" at the center of the system, as opposed to the DARK MATTER, which they place in a spherical halo.**

Translate: [google.translate.com](https://www.google.com/translate)



**ТЕМНАЯ МАТЕРИЯ? СУПЕРМАССИВНЫЕ ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ? МОНД?  
а ГАЛАКТИЧЕСКИЕ КРИВЫЕ ВРАЩЕНИЯ**

**РЕЗЮМЕ**

Что такое темная материя? Согласно Стандартной космологической модели,  $\Lambda$ CDM составляет около 26,8% массы Вселенной. Он проводит свой сон над глазами ученого. Они называют это Святым Граалем физики и даже науки. Его ищут везде: во всем космосе, на Земле и даже под землей. На его поиски они тратят миллиарды долларов в год. Тысячи ученых по всему миру ищут его. Его ищут американцы, русские, китайцы, японцы, европейцы и даже поляки. Большой адронный коллайдер в ЦЕРНе и другие ускорители по всему миру ищут его. Пока не найдено ни одной частицы темной материи. О темной материи написаны тысячи публикаций. Несмотря на огромные затраты, которые были понесены и продолжались, все попытки найти частицы темной материи оказались безуспешными.

Название книги

**"ТЕМНАЯ МАТЕРИЯ? СУПЕР МАССИВНЫЕ ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ? МОНД? а кривые вращения галактик»**

Какова связь темной материи со сверхмассивными черными дырами и MOND? Что же, все эти концепции имеют общую родословную, а именно кривые вращения спиральных галактик.

И так, давайте зададим себе следующие вопросы:

**ЧЕМ МОЖЕТ БЫТЬ ТЕМНАЯ МАТЕРИЯ?**

1. какая-то неизвестная форма материи – **WIMP**'ны? (Слабо взаимодействующие массивные частицы), Может ли термин **темная материя** означать:
2. вымышленная материя, математический трюк, что-то вроде эпициклов, эквантов и деферентов в геоцентрической теории Птолемея для объяснения ретроградного движения Марса и других внешних планет Солнечной системы?  
Или, может быть, проблема с **темной материей** связана с:
3. неправильное предположение о типе кривых вращения галактик?
4. неправильный метод расчета массы галактик?
5. ошибочный закон всемирного тяготения Исаака Ньютона – теории **MOND**? (Modified Newtonian Dynamics, модифицированная ньютоновская динамика)
6. **А может быть, темной материи и темной энергии не существует?** По предположению Адама Риза, "Так что же это за важная вещь? Есть ли у нас какие-нибудь советы? Это зависит от того, кого мы об этом спросим. Адам Риз, человек, чья радикальная, пафосная риторика открыла эру темной энергии, предлагает кое-что для размышлений. Что, если мы не знаем всего о том, как работает гравитация? Может быть, темной материи и темной энергии не существует? Возможно, последние четыре столетия мы были слепы к небольшим неточностям закона притяжения Ньютона, которые, возможно, являются ключом к восстановлению потерянной Вселенной ».

Ответ на все эти вопросы читатель найдет в данной публикации.

Автор ввел новую классификацию систем небесных тел, связанных силой тяжести:

1. **двухчастичные системы, аналитически решаемые, тип D,**
2. **системы с одноточечным доминирующим источником гравитации, тип J - Солнечная система,**
3. **системы с многоточечными равными источниками гравитации, тип W - галактики.**

Эти системы сильно различаются по динамике. Мы можем применять законы Кеплера к одноточечным системам, в то время как применение законов Кеплера к многоточечным системам приводит к серьезным проблемам, которые приводят к появлению темной материи, сверхмассивных черных дыр и различных теорий **MOND**.

В этой публикации автор рассматривает динамику многоточечных систем. Он разработал свои собственные методы расчета динамики этих систем, которые значительно отличаются от методов, используемых в настоящее время для расчета кривых вращения галактик и определения фактической массы галактик.

Если бы была **темная материя**, в системах **W**-типа она увеличила бы количество воображаемой массы, и вам все равно пришлось бы искать новую темную материю в количествах, намного больших, чем в настоящее время.

**ТЕМНУЮ МАТЕРИЮ** можно рассматривать как эквивалент воображаемой гравитационной массы, которая «находится» в центре системы, в отличие от **темной материи**, которую они помещают в сферическом гало.

ПЕРЕВОД: google.translate.com

## Słowniczek pojęć i skrótów używanych w niniejszej publikacji

- ciało sferyczne jednorodne — kula o stałej gęstości w całej objętości, ciała sferyczne radialnie jednorodne, (sferycznie jednorodne) — kula o stałej gęstości w sferach. Każda sfera może mieć inną gęstość,
- grawitacyjna masa pozorną  $M_{OP}(r)$  – masa jednorodnego ciała sferycznego, umieszczonego w centrum układu, jaką „widzi” jednorodne sferyczne ciało układu, znajdujące się w odległości  $r$  od centrum. Wartość masy  $M_{OP}(r)$  zależy od typu układu, wielkości geometrycznej, kształtu układu, liczbie jednorodnych sferycznych ciał, rozkładu przestrzennego ciał. Największa masa pozorną jest dla krańcowych ciał  $M_{OP}(R_0)$ ,  $R_0$  – największa odległość od centrum układu Dla jednorodnego układu sferycznego  $M_{OP}(r)$  równa jest masie rzeczywistej.
- grawitacyjna masa urojona  $M_{OU}(r)$  – nierzeczywista (fizycznie jej nie ma) masa jednorodnej kuli umieszczonej w centrum układu niesferycznego, która wytwarza rzeczywiste natężenie pola grawitacyjnego. Jest ona różnicą algebraiczną pomiędzy masą pozorną, a masą rzeczywistą

$$M_{OU} = M_{OP} - M_R.$$

Grawitacyjna masa urojona może być ujemna.  $M_{OU}(r)$  jest tym czym dla modelu  $\Lambda$ CDM masa *ciemnej materia* + masa *supermasywnych czarnych dziur*,

- grawitacyjny równoważnik jednorodnej kuli  $GRJK(r_0)$  — stosunek rzeczywistego natężenia pola grawitacyjnego układu ciał niebieskich w odległości  $r_0$  od centrum układu, do natężenia pola grawitacyjnego, w tym punkcie, obliczonego metodą punktu materialnego,  $MPM$ , lub obliczonego z prawa Keplera. Dla sferycznych jednorodnych układów równoważnik ten jest równy 1,
- orbitalna prędkość kołowa  $v_{lok}$  — prędkość ciała na orbicie kołowej,
- układ ciał niebieskich związanych grawitacyjnie — przestrzenny układ geometryczny ciał niebieskich (gwiazd, planet, obłoków pyłu i gazu itp.) połączonych ze sobą tylko siłą grawitacji,
- układy ciał niebieskich związanych grawitacyjnie typu  $D$  – układ dwóch jednorodnych ciał sferycznych związanych grawitacyjnie. Układy tego typu można rozwiązywać również analitycznie. Mogą to być układy typu  $J - D_J$ , jak również typu  $W - D_W$ ,
- układy ciał niebieskich związanych grawitacyjnie typu  $J$  – są to układy o niewielkiej liczbie ciał niebieskich związanych grawitacyjnie z jednopunktowym (jednoźródłowym) i skupionym, dominującym źródłem grawitacji, w których występuje tylko jedno sferyczne jednorodne lub sferycznie jednorodne ciało centralne o masie kilkaset, lub więcej, razy większej od masy wszystkich pozostałych ciał układu. O masie całego układu decyduje masa ciała centralnego, wokół którego wirują wszystkie ciała układu. W układach tego typu, rozpatrywanych globalnie, są spełnione prawa Keplera, np. Układ Słoneczny. Układy tego typu na ogół są wielopoziomowe, np. planety ze swoimi księżycami też są układami typu  $J$ ,
- układy ciał niebieskich związanych grawitacyjnie typu  $W$  – układy, na ogół, o wielkiej liczbie ciał niebieskich związanych grawitacyjnie z wielopunktowymi (wieloźródłowymi) i rozproszonymi źródłami grawitacji. Dla dużych układów masa całego układu jest tysiące, a nawet miliardy razy większa od masy pojedynczych ciał lub grup lokalnych tworzących układ. Cały układ wiruje wokół osi przechodzącej przez środek układu. W układach tych, rozpatrywanych globalnie, nie są spełnione prawa Keplera, np. galaktyki różnego typu. Elementami tych układów mogą być układy typu  $J$ , np. Układ Słoneczny w Drodze Mlecznej. Układy tego typu też są na ogół wielopoziomowe.

## WSTĘP

Ciemna materia co to takiego? Według Standardowego Modelu Kosmologicznego  $\Lambda$ CDM, stanowi ona ok. 26,8% masy Wszechświata. Spędza sen z powiek uczonym. Nazywają ją Świętym Graalem Fizyki a nawet Nauki. Szukają jej wszędzie, w całym Kosmosie, na Ziemi, a nawet pod ziemią. Na jej poszukiwanie wydają miliardy dolarów rocznie. Szukają jej tysiące uczonych na całym świecie. Szukają jej Amerykanie, Rosjanie, Chińczycy, Japończycy, Europejczycy, a nawet Polacy. Poszukuje jej Wielki Zderzacz Hadronów w CERN-e i inne akceleratory na całym świecie. Jak do tej pory nie znaleziono ani jednej cząstki ciemnej materii. Na temat ciemnej materii napisano tysiące publikacji. Pomimo poniesienia i ponoszonych dalej ogromnych kosztów, wszystkie wysiłki poniesione na znalezienia ciemnej materii zakończyły się fiaskiem.

Tytuł książki brzmi

### „CIEMNA MATERIA? SUPER MASYWNE CZARNE DZIURY? MOND? a KRZYWE ROTACJI GALAKTYK”

Jaki jest związek *ciemnej materii* z *supermasywnymi czarnymi dziurami* i *MOND?*, a no taki, że wszystkie te pojęcia mają wspólny rodowód, a mianowicie są to *krzywe rotacji galaktyk*.

Zadajmy więc sobie pytania:

#### CZYM MOŻE BYĆ CIEMNA MATERIA?

1. jakąś nieznaną formą materii – **WIMP-y?** (*ang. Weakly Interacting Massive Particles, Słabo Oddziałujące Masywne Cząstki*),

Czy pod pojęciem *ciemna materia* może kryje się:

2. fikcyjna materia, wybieg matematyczny, coś w rodzaju epicykli, ekwantów i deferentów w teorii geocentrycznej Ptolemeusza, żeby wyjaśnić wsteczny ruch Marsa i innych planet zewnętrznych Układu Słonecznego?,

Czy może problem *ciemnej materii* wynika z:

3. błędnego założenia typu krzywych rotacji galaktyk?
4. błędnej metody obliczania masy galaktyk?  $\equiv$  (czy masa grawitacyjna powinna być równa masie świecącej?)
5. błędnego prawa powszechnego ciężenia Isaaca Newtona - teorie **MOND?** (*Modified Newtonian Dynamics, Modyfikacja Dynamiki Newtona*)
6. *A może ciemna materia i ciemna energia nie istnieją?, jak sugeruje Adam Riees, „Czym więc jest ta podstawowa rzecz? Czy mamy jakieś wskazówki? Zależy, kogo o to spytamy. Adam Riees, człowiek, którego radykalna, pełna patosu retoryka zapoczątkowała erę ciemnej energii, sugeruje coś dającego do myślenia. Co, jeśli nie wiemy jeszcze wszystkiego o działaniu grawitacji? Może ciemna materia i ciemna energia nie istnieją? Może przez ostatnie cztery stulecia byliśmy ślepi na drobne nieścisłości Newtonowskiego prawa przyciągania, które są być może kluczem do odzyskania zaginionego wszechświata.” [3, s. 54]*

Na wszystkie te pytania Czytelnik znajdzie odpowiedź w niniejszej publikacji.

Do zrozumienia ruchu gwiazd, planet, galaktyk i wielu innych ciał, nazywanych w astronomii ciałami niebieskimi, potrzebna jest podstawowa znajomość praw rządzących ruchem tych wszystkich ciał. Wszystkie te ciała tworzą większe lub mniejsze układy powiązane różnymi siłami: grawitacyjnymi, słabymi, elektromagnetycznymi i jądrowymi. W niniejszej publikacji będziemy zajmowali się tylko **układami ciał niebieskich związanych siłą grawitacji**, a elementami tych układów, omawianych w niniejszej publikacji, są tylko **jednorodne ciała sferyczne**. Grawitacja jest podstawową siłą rządzącą ruchem ciał niebieskich. Skupiska

ciał niebieskich powiązanych ze sobą siłą grawitacji nazywamy **układami ciał niebieskich związanych grawitacyjnie**. W publikacji tej będziemy zajmowali się tylko dynamiką układów wirujących w jednej płaszczyźnie, prostopadłej do osi obrotu. Dynamika gromad galaktyk jest bardziej złożona, należy uwzględnić orientację płaszczyzny wirowania każdej galaktyki względem osi obrotu gromady. Do obliczenia krzywych rotacji gromad galaktyk potrzebne są superkomputery o znacznie większej mocy obliczeniowej niż najmocniejsze PC.

Do wyjaśnienia problemu ciemnej materii wystarczy ograniczyć się do rozpatrzenia dynamiki **układów keplerowskich i jednorodnych układów wieloźródłowych rozproszonych**. Zrozumienie różnicy pomiędzy dynamiką tych dwóch typów układów jest wystarczające do zrozumienia problemu **ciemnej materii, supermasywnych czarnych dziur i teorii MOND**. O strukturze Wszechświata decydują głównie dwie siły: jedna siła przyciągająca, nazywana grawitacją, która dąży do scalenia wszystkich ciał, a druga siła, odpychająca, która usiłuje je rozzerwać. W publikacji niniejszej będziemy zajmowali się tylko siłą grawitacji. Układy ciał niebieskich związanych grawitacyjnie tworzą struktury o różnej masie, liczebności ciał w układzie i jej przestrzennym rozłożeniu w układzie, wielkości geometrycznej układu i jego kształcie: sferyczne, płaskie, liniowe, spiralne, dyskowe, pierścieniowe, nieregularne i inne.

Wszystkie te różnorodne układy możemy podzielić na grupy o podobnych własnościach dynamicznych. Badaniem ruchu ciał niebieskich zajmuje się mechanika nieba.

### Klasyfikacja układów ciał niebieskich związanych grawitacyjnie

Autor wprowadził klasyfikację układów ciał niebieskich związanych grawitacyjnie na trzy podstawowe typy:

1. typ **D** (**D<sub>J</sub>** i **D<sub>W</sub>**) – są to układy dwóch jednorodnych ciał sferycznych rozwiązywalne również analitycznie,
2. typ **J** – są to układy o niewielkiej liczbie ciał niebieskich związanych grawitacyjnie z jednopunktowym (jednoźródłowym) i skupionym, dominującym źródłem grawitacji, w których występuje tylko jedno, sferyczne jednorodne lub sferycznie jednorodne ciało centralne o masie kilkaset, lub więcej, razy większej od masy wszystkich pozostałych ciał układu. Dla Układu Słonecznego masa Słońca jest około 1000 razy większa od masy pozostałych ciał układu. O masie całego układu decyduje masa ciała centralnego, wokół którego wirują wszystkie ciała układu. W układach tego typu są spełnione prawa Keplera. W dalszej części publikacji, układy typu **J** będziemy nazywali również zamiennie **układami jednoźródłowymi, jednopunktowymi lub układami keplerowskimi** dla upamiętnienia astronoma, który pierwszy opisał kinematykę ruchu planet w Układzie Słonecznym, Johannes`a Keplera. Składnikami układu mogą być mniejsze układy typu **D, J** i **W** np. planety ze swoimi księżycami, jak Jowisz, Saturn i inne, a nawet typu **W** – pierścienie planet, obłoki Oorta. Rozpatrując układ globalnie, każdy mniejszy układ typu **J** traktujemy jak jedno jednorodne ciało sferyczne,
3. typ **W** – układy, na ogół, o wielkiej liczbie ciał niebieskich związanych grawitacyjnie z **wielopunktowymi (wieloźródłowymi) i rozproszonymi źródłami grawitacji**. Dla dużych układów masa całego układu jest tysiące, a nawet miliardy razy większa od masy pojedynczych ciał lub grup lokalnych tworzących układ. Cały układ wiruje wokół osi przechodzącej przez środek układu. W układach tych, rozpatrywanych globalnie, nie są spełnione prawa Keplera. Układami tego typu, rozpatrywanych globalnie, są galaktyki różnego typu, mgławice gazowe itp. Elementami układów typu **W** rozpatrywanych lokalnie, mogą być gromady gwiazd, gwiazdy podwójne, mogą to być również układy typu **J**, tak jak nasz Układ Słoneczny, który znajduje się w Drodze Mlecznej. Ale jeżeli rozpatrujemy układ globalnie, to każdy w/w obiekt wchodzący w skład układu, traktujemy jak jedno sferyczne jednorodne ciało niebieskie. Ciała niebieskie w



układach typu  $W$  nie poruszają się po orbitach kołowych ani też eliptycznych zamkniętych.

Różnicę pomiędzy typem  $J$ , a typem  $W$  możemy poglądowo opisać na przykładzie latarni ulicznych. Jeżeli na ulicy świeci jedna latarnia, to im dalej od latarni się znajdujemy tym jest ciemniej. Jeżeli ulica jest oświetlona wieloma latarniami w jednakowych odległościach to oświetlenie ulicy jest mniej więcej równomierne na całej długości.

Możemy również porównać ją do impedancji indukcyjnej dla prądu stałego i prądu zmiennego. Dla prądu zmiennego jest ona znacznie większa niż dla prądu stałego.

Poniżej podamy przykłady wirtualnych Układów Słonecznych typu  $J$  i typu  $W$  ze szczególnym podkreśleniem różnicy pomiędzy tymi dwoma typami **układów ciał niebieskich związanych grawitacyjnie**.

Wyniki obliczeń podano w tabelkach, żeby czytelnik mógł sam obliczyć wartości danych wielkości i porównać je z przedstawionymi w niniejszej publikacji.

Układy typu  $W$  pokazano w kilku konfiguracjach:

**jednorodnej  $W_J$** :  $\Delta r_i = 1 \text{ j.a.}$ ,  $m_{W_i} = \frac{1,00020}{21} \cdot M_{\odot} = 0,04762857 \cdot M_{\odot}$ ;  $i := 1 \dots 10$ , i w trzech konfiguracjach niejednorodnych:

- masa,  $m_{W_i}$ , jednorodna, a  $\Delta r_i \nearrow$  liniowo rosnąca – odległość pomiędzy dwoma kolejnymi ciałami;  $i := 1 \dots 10$ , dla każdego ramienia
- $\Delta r_i = 1 \text{ j.a.}$  stałe, a masa,  $m_{W_i} \searrow$  liniowo malejąca;  $i := 1 \dots 10$ , dla każdego ramienia
- $\Delta r_i \nearrow$  liniowo rosnąca, a masa,  $m_{W_i} \searrow$  liniowo malejąca;  $i := 1 \dots 10$ , dla każdego ramienia,

Indeks  $i$  oznacza kolejność każdej planet od Słońca dla każdego ramienia.

Wszystkie układy są obliczone numerycznie metodą **KzK** – każdy z każdym, która daje rzeczywiste wartości obliczanych wielkości dynamicznych. Metoda ta będzie dokładnie opisana w rozdziale poświęconym dynamice ruchu ciał niebieskich w polu grawitacyjnym.

Oba typy układów, składają się z ciała centralnego  $M_0(0,0)$  i 20 planet ułożonych po 10, symetrycznie, na osi  $x$ , po obu stronach  $M_0$ . Sumaryczna masa wszystkich układów jest stała i wynosi  $1,00020 \cdot M_{\odot}$ , ( $M_{\odot} = 1,9891 \cdot 10^{30}$  [kg] - masa Słońca). Dla układu **jednorodnego  $W$ , keplerowskiego** i **niejednorodnego  $W$**  odległość pierwszej planety od Słońca wynosi 1 j.a., (j.a. jest to **jednostka astronomiczna** równa średniej odległości Ziemi od Słońca, (j.a. =  $1,49598 \cdot 10^{11}$  [m]) i taka sama jest odległość pomiędzy pozostałymi planetami. Ostatnia planeta jest w odległości 10 j.a. i byłaby połowę j.a. za Saturnem. Dla **układu keplerowskiego**,  $M_{0J}$ , ma masę Słońca, a każda planeta ma masę

$$m_{J_i} = 0,00001 \cdot M_{\odot} = 1,9891 \cdot 10^{25} \text{ [kg]}, i := 1 \dots 10$$

jest to masa w przybliżeniu równa trzem masom Ziemi.

Dla **jednorodnego układu wielopunktowego  $W$** , wszystkie ciała układu mają jednakową masę

$$m_{W_i} = \frac{1,00020}{21} \cdot M_{\odot} = 9,4738 \cdot 10^{28} \text{ [kg]}, i := 0 \dots 10$$

jest to masa, w przybliżeniu, równa 50 masom Jowisza. Gdyby nasz Układ Słoneczny był typu **wielopunktowego**, to nie byłoby praw Keplera w postaci takiej, jakie je znamy. Prędkości planet dla **układu Keplerowskiego  $J$**  podane w *Tabeli W.I.* i pokazane na wykresie, *Rys. W.I.*, odbiegają nieco od wartości obliczonych wg wzoru pokazanego na *Rys. W.I.*, który to wzór pokazuje prędkość orbitalną ciała krążącego wokół Słońca, w układzie, w którym nie ma innych planet.

Dla wszystkich układów, wartość prędkości orbitalnej każdej planety obliczamy dokładnie w środku geometrycznym planety.

Całkowita masa i promień wszystkich układów są takie same:  $MUc = 1,00020 \cdot M_{\odot}$ , a promień układów wynosi 10 j.a.

W Tabeli W.1. podano orbitalne prędkości kołowe planet dla wszystkich wirtualnych Układów Słonecznych w chwili początkowej, tj. dla  $t_0=0$ , a w kolumnie 3 – odległości planet dla rosnących  $\Delta r_{wi} \nearrow$  i w kolumnie 4 – malejące masy  $m_{wi} \searrow$ . Każdy układ typu  $W$  opisany jest czcionką innego koloru. Kolory te obowiązują we wszystkich tabelach i wykresach dotyczących wirtualnych Układów Słonecznych.

Tabela W.1. Krzywe rotacji wirtualnych Układów Słonecznych.

	$\Delta r_j = 1 \text{ j.a.}; \quad j := 1 \dots 10$		$i := 1 \dots 10$		$\Delta r_{wj} = 1 \text{ j.a.}$	$M_{0W} = m_{Wj} = 1,00020/21 \cdot M_{\odot}$	
	$M_{0j} = M_{\odot}$ $m_{j} = 0,00001 M_{\odot}$	$M_{0W} = m_{Wj} = 1,00020/21 M_{\odot}$					
$r_i$ [j.a.]	$v_j$ [km/s]	$v_{Wj}$ [km/s]	$r_{wi} \nearrow$ [j.a.]	$m_i \searrow$ [ $M_{\odot}$ ]	$v_{Wn}$ $m_{wi} \searrow$ $\Delta r_j$ [km/s]	$v_{Wn}$ $m_{Wj} \Delta r_{wi} \nearrow$ [km/s]	$v_{Wn}$ $m_{wi} \searrow$ $\Delta r_{wi} \nearrow$ [km/s]
1	(Ziemia -1; 29,8) 29,789	0,879	0,8500	0,0953	2,7041	5.021194	6.2108
2	(Mars -1,5; 24,1) 21,064	1,782	1,7333	0,0857	4.2739	8.198486	9.6594
3	17,199	2,737	2,6500	0,0767	5.4814	10.710482	12.0869
4	14,895	3,782	3,6000	0,0677	6.5267	12.812187	13.9005
5	(Jowisz -5,2; 13,1) 13,322	4,969	4,5833	0,0587	7.5219	14.611565	15.2822
6	12,162	6,384	5,6000	0,0497	8.5706	16.154148	16.3243
7	11,260	8,190	6,6500	0,0407	9.8188	17.443929	17.0678
8	10,533	10,736	7,7333	0,0318	11.5574	18.431973	17.5009
9	9,932	15,027	8,8500	0,0228	14.6039	18.933278	17.4996
10	(Saturn -9,5; 9,6) 9,428	25,974	10,0000	0,0138	23.0170	17.945144	16.2931

W kolumnie 2 dla Ziemi, Marsa, Jowisza i Saturna podano (-wartość rzeczywistej odległości od Słońca; rzeczywista liniowa prędkość orbitalna).

Na Rys. W.1. wykreślono krzywe rotacji wszystkich układów. Z Tabeli W.1. i wykresu na Rys. W.1. widać, że dla układu keplerowskiego, największą prędkość orbitalną, 29,789 km/s, mają planety najbliższe Słońca i maleją zgodnie z prawem Keplera. Proszę zwrócić uwagę, że jest to prędkość zbliżona do rzeczywistej prędkości orbitalnej Ziemi, co świadczy o poprawności zastosowanej metody  $KzK$  do obliczania dynamiki układów ciał niebieskich związanych grawitacyjnie. Podobnie jest też w przypadku Marsa, Jowisza i Saturna, jak widać to w Tab. W.1. w kolumnie 2, oczywiście po wprowadzeniu odpowiedniej korekty odległości.

Należy pamiętać, że modele wszystkich wirtualnych Układów Słonecznych są symetryczne względem Słońca i na każdej orbicie krążą po dwie planety.

Dla wszystkich układów typu  $W$ , planety najbliższe Słońca mają najmniejszą prędkość orbitalną, która rośnie wraz ze wzrostem odległości od centrum. Najszybciej prędkość ta rośnie dla układu jednorodnego  $W$  i osiąga największą prędkość dla ostatniej planety, 25,974 km/s, nieco mniejszą niż największa prędkość pierwszej planety dla układu keplerowskiego.

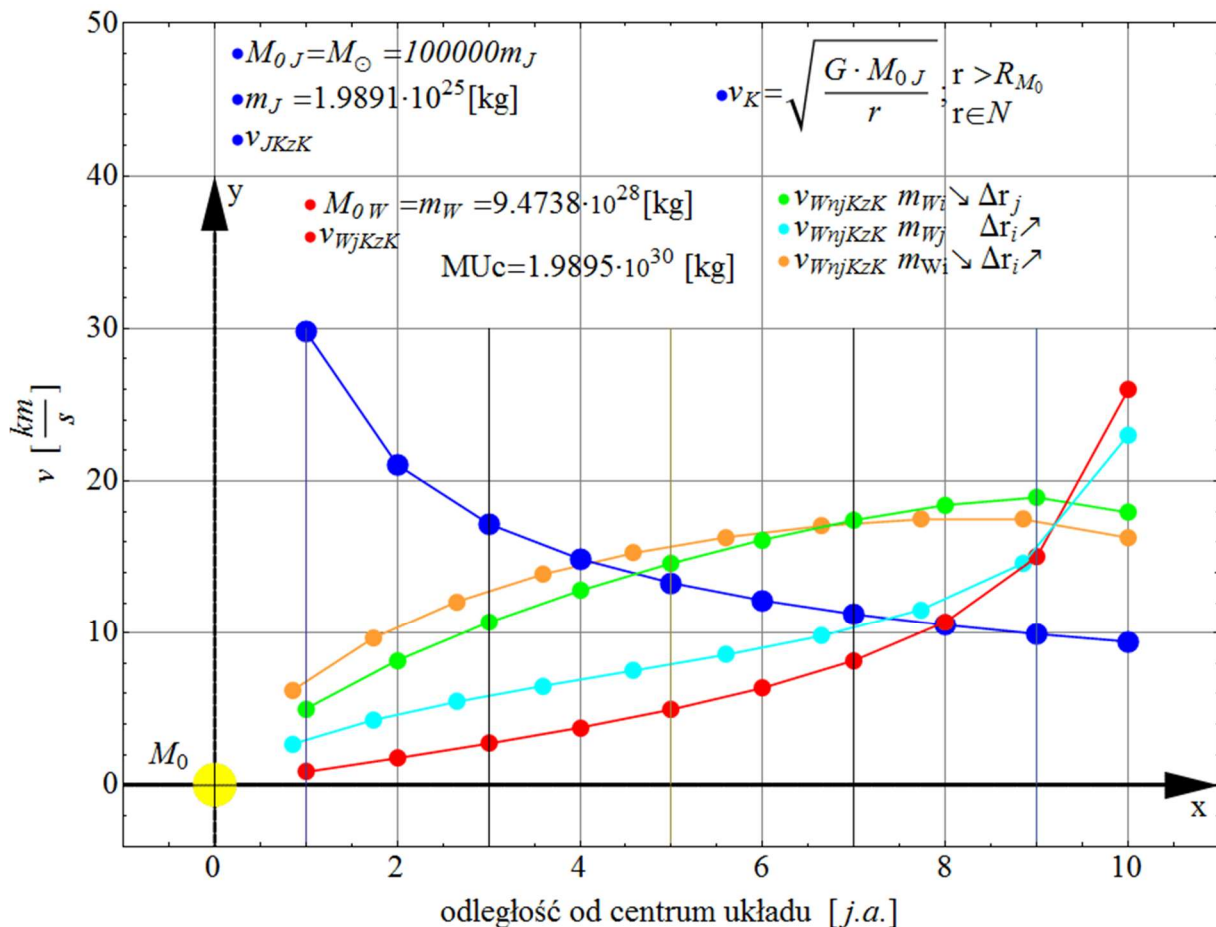
W Tabeli W.2. pokazano wartości grawitacyjnych mas pozornych  $M_{0P}$ , jednorodnych ciał sferycznych umieszczonych w centrum układów, jakie powinny być żeby planety, krążące na danych orbitach były kołowe, a na Rys. W.2. przedstawiono te wartości graficznie. Znając wartości orbitalnych prędkości kołowych, grawitacyjną masę pozorną obliczymy ze wzoru:

$$M_{0P} = \frac{v^2 \cdot r}{G} [kg] \quad (W.1)$$

Dla układów typu  $J$  grawitacyjne masy pozornie są w przybliżeniu równe masie Słońca, dla każdej planety. Największa różnica jest dla planet na ostatniej orbicie, która wynosi 1,5%. Zupełnie inaczej wygląda sytuacja dla układów typu  $W$ .

Dla każdego układu typu  $W$ , grawitacyjne masy pozornie są inne. Dla układu jednorodnego masy pozornie są mniejsze od masy rzeczywistej aż do 3 planety. Dla 4 planety grawitacyj-

na masa pozorna jest już ok. 1,5 razy większa od masy rzeczywistej i dalej rośnie lawinowo, osiągając wartość **7,600777** razy większą od masy rzeczywistej całego układu  $M_{Uc}$ , a **159,61630** razy większa od masy rzeczywistej  $M_{0W}$  znajdującej się w centrum układu.



Rys. W.1. Porównanie krzywych rotacji wirtualnych Układów Słonecznych typu  $J$  i typów  $W$  jednorodnego i 3 niejednorodnych.

Układy typu  $J$  są stabilne w czasie. Orbity ciał obiegających ciało centralne są kołowe lub eliptyczne zamknięte. Układy typu  $W$  zmieniają kształt i wymiar, a orbity ciał obiegających ciało centralne nie są kołowe ani też eliptyczne zamknięte.

Dla układów niejednorodnych typu  $W$ , wartości prędkości orbitalnych oraz kształty krzywych rotacji zależą od rodzaju niejednorodności, rozkładu masy i rozkładu  $\Delta r_{wi}$  w układzie, jak widać to na Rys. W.1. Przypominamy, że wszystkie wirtualne Układy Słoneczne opisane w przykładzie mają jednakową masę całkowitą i rozmiar.

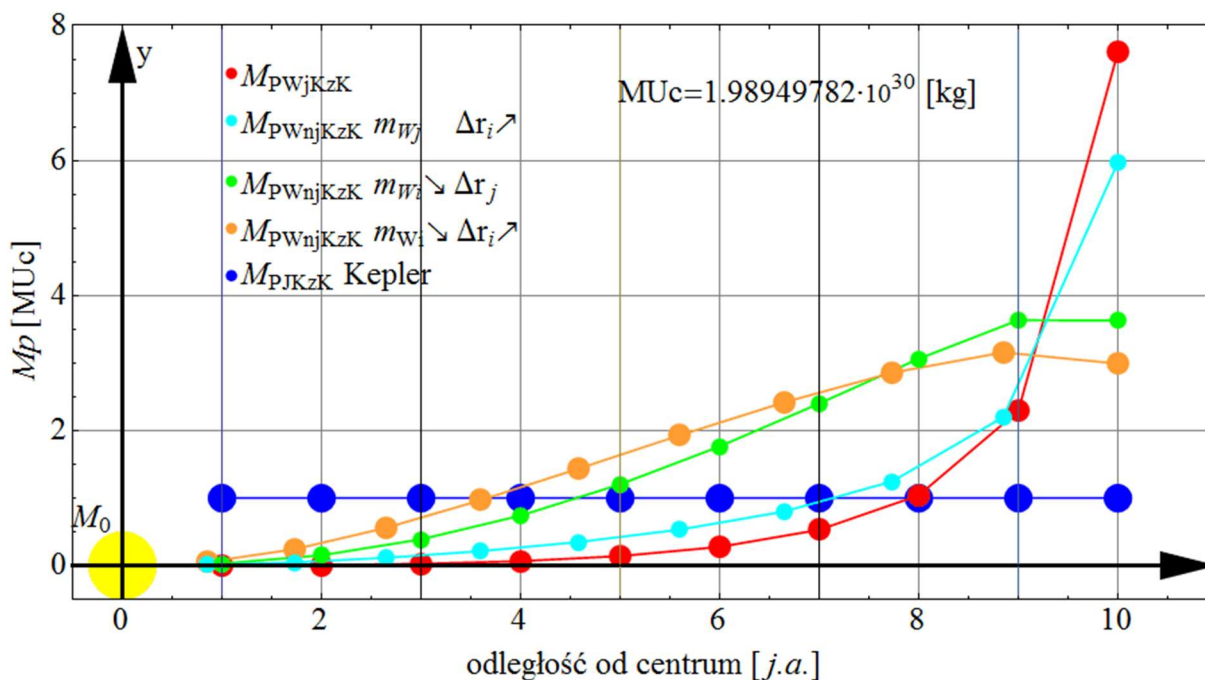
Z Rys. W.1. i danych z Tabeli W.1. widać, że krzywe rotacji dla układów typu  $W$  nie są keplerowskie, a z danych w Tabeli W.2. i graficznie przedstawionych na Rys. W.2. widać, że masa układów obliczana grawitacyjnie nie jest masą rzeczywistą i jest znacznie większa od masy świecącej (rzeczywistej). Jest to jednocześnie odpowiedź na pytanie, czy założenie, że krzywe rotacji galaktyk spiralnych powinny być keplerowskie? i czy masa grawitacyjna powinna być równa masie świecącej? Mamy również odpowiedź na pytanie czym może być **ciemna materia?**

**CIEMNA MATERIA nie może być żadną formą materii, WIMP'ów lub innych cząstek supersymetrycznych.**

**CIEMNĄ MATERIE można potraktować jako fikcyjną materię, odpowiednik grawitacyjnej masy urojonej, która „znajduje” się w centrum układu, w przeciwieństwie do CIEMNEJ MATERII, umieszczonej w sferycznym halo galaktyk lub fikcyjną materię, jako wybieg matematyczny, tak jak w teorii geocentrycznej Ptolemeusza, do wyjaśnienia wstecznego ruchu Marsa i innych planet.**

Tabela W.2. Wirtualne grawitacyjne masy pozorne jednorodnych ciał sferycznych, jakie powinny być w centrum układu, żeby dana planeta poruszała się z orbitalną prędkością kołową.

	$\Delta r_j = \Delta r_j = 1 \text{ j.a.}$		$i \in N$		$M_{0Wj} = 2 \cdot 1,00020 / 21 \cdot M_{\odot}$		
	$M_{0j} = M_{\odot}$ $m_{ji} = 0,00001 \cdot M_{\odot}$	$M_{0Wj} = m_{wi} = 1,00020 / 21 \cdot M_{\odot}$			$\Delta r_j = 1 \text{ j.a.}$	$m_{Wj} = m_{wi}$	
$r_b, r_i$ $r_i$ [j.a.]	$M_{0PWj}$ [ $M_{\odot}$ ]	$M_{0PW_i}$ [ $M_{Uc}$ ]	$r_i \nearrow, r_i \nearrow$ [j.a.]	$m_{wi} \searrow$ [ $M_{\odot}$ ]	$M_{0PW_n}$ $m_{wi} \searrow \Delta r_j$ [ $M_{Uc}$ ]	$M_{0PW_n}$ $m_{Wj} \Delta r_i \nearrow$ [ $M_{Uc}$ ]	$M_{0PW_n}$ $m_{wi} \searrow \Delta r_i \nearrow$ [ $\text{km/s}$ ]
1	0,99999018	0,000870	0,8500	0,0953	0,009692	0,028406	0,051129
2	0,99999150	0,007153	1,7333	0,0857	0,047492	0,151457	0,242587
3	0,99999531	0,025327	2,6500	0,0767	0,114965	0,387731	0,559009
4	1,00000354	0,064462	3,6000	0,0677	0,213301	0,739771	0,242587
5	1,00001921	0,139082	4,5833	0,0587	0,347700	1,202692	1,435221
6	1,00004786	0,275546	5,6000	0,0497	0,532017	1,764048	1,930083
7	1,00010108	0,528956	6,6500	0,0407	0,800351	2,399814	2,418334
8	1,00020817	1,038912	7,7333	0,0318	1,245431	3,062137	2,855792
9	1,00047087	2,289844	8,8500	0,0228	2,199228	3,634838	3,157828
10	1,00158616	7,600777	10,0000	0,0138	5,968790	3,628147	2,990902



Rys. W.2. Masy pozorne  $M_{P0}$ , w chwili początkowej  $t_0$ , jednorodnych ciał sferycznych, jakie powinny być w centrum wirtualnych Układów Słonecznych, żeby dana planeta poruszała się z orbitalną prędkością kołową.

Dla układu  $J$  masa pozorna  $M_p$  jest podana w masach Słońca, a dla układów  $W$  w masach całego układu  $M_{uc}$ . Linie łączące punkty nie reprezentują żadnych wartości.

Na zakończenie tego rozdziału przypominamy, że wszystkie wyliczenia przytoczone w tabelkach i przedstawione graficznie na wykresach dotyczą układów tylko i wyłącznie w chwili początkowej tj. w ułożeniu wszystkich planet w jednej linii prostej, na osi  $x$ . Po czasie  $t$  każda planeta przesunie się w inne położenie, a ponieważ prędkość kątowna planet jest różna, to planety nie będą już ułożone w linii prostej wzdłuż średnicy układu. Dla każdego nowego położenia planet należy ponownie obliczyć wszystkie parametry układu.

Dla rzeczywistego Układu Słonecznego, grawitacyjna masa pozorna,  $M_{0P}$ , na orbicie Neptuna, oraz dla wszystkich planet ułożonych w jednej linii i po jednej stronie Słońca, wynosi: masa Słońca + 2,5x masa Jowisza.



Na tym można by zakończyć rozważania na temat problemu *ciemnej materii*.

Więcej na temat mechaniki nieba, szczególnie dynamiki układów typu *W* o liczbie ciał do kilku miliardów i różnych kształtach, ich powstawania i ewolucji autor opisał w publikacji „Pomyłki Einsteina i nie tylko, czyli jak uczeni komplikują rzeczywistość”, która była dostępna na stronie internetowej autora w latach 2012÷2017, tam też był rozdział na temat *ciemnej materii*.

Więcej jest to opisane w dalszych rozdziałach, a szerzej i dokładniej w książce „Układy ciał niebieskich związanych grawitacyjnie”, pozycja [4 zapowiedź] wykazu źródeł.

## 1. Geneza powstania problemu ciemnej materii. Rys historyczny

Pojęcie *ciemnej materii* wprowadził Fritz Zwicky w latach 30 XX wieku. Fritz Zwicky zauważył, że galaktyki w gromadzie Coma poruszały się ze zbyt wielką prędkością, wokół centrum gromady, by dało się ją wyjaśnić obserwowaną masą gromady. Doszedł do wniosku, że w tej gromadzie, tak jak i w innych, musi być więcej masy, niż wynika to z obserwacji, jeśli weźmie się pod uwagę grawitację, która powinna zapewnić im spójność. Masa gromady w Warkoczu Bereniki powinna być trzysta razy większa niż masa świecącej materii.

Fritz Zwicky, nie znając przyczyn, co mogłoby powodować tak wielką prędkość galaktyk wokół centrum gromady, przyjął ad hoc, że gromady muszą mieć większą masę, niż ta wyliczona na podstawie obserwacji materii świecącej. Masy materii świecącej w gromadach okazywały się wielokrotnie mniejsze od ich mas grawitacyjnych. Masę gromady można określić, sumując masy wszystkich gwiazd we wszystkich galaktykach gromady. Otrzymamy wówczas tzw. masę świecąca. Ale można też wyliczyć masę grawitacyjną na podstawie rozmiarów gromad oraz prędkości ich galaktyk krążących wokół wspólnego środka ciężkości. Problem polegał na tym, że wartości otrzymane każdą z tych metod bardzo się różniły. Ponieważ materia ta była niewidzialna nazwał ją ciemną materią i tak zostało.

Mniej więcej w tym samym czasie, ale przed odkryciem Zwicky'ego, holenderski astronom Jan Oort badał ruchy gwiazd leżących na obrzeżach Drogi Mlecznej. Z pomiarów Oort stwierdził, że zmierzone przez niego prędkości gwiazd wymagają, by Galaktyka miała masę trzykrotnie większą niż zawarta w niej świecąca materia.

W 1959 roku Louise Volders, obserwując galaktykę spiralną M33 (Andromedę), zauważyła, że **prędkość orbitalna gwiazd galaktyki nie jest zgodna z przewidywaniami praw Keplera**. Uwzględniając rozkład gwiazd w galaktyce, Louise Volders oszacowała masę i określiła przewidywaną zależność prędkości orbitalnej w funkcji odległości od centrum galaktyki. Jednak obserwowana zależność prędkości orbitalnej, w funkcji odległości od centrum, różni się od tej przewidywanej. Zasugerowała istnienie w galaktyce innej, niewidocznej ciemnej materii. Ten fenomen nazywany jest problemem krzywej rotacji

W latach sześćdziesiątych i siedemdziesiątych XX wieku astronomowie mierzyli prędkości gwiazd w galaktykach. Badali tylko wewnętrzne obszary galaktyki i rysowali krzywe rotacji – wykresy ukazujące liniową orbitalną prędkość gwiazd jako funkcję ich odległości od centrum galaktyki. **„Naszkicowali tylko keplerowski spadek prędkości”, powiedziała Rubin, odnosząc się do zastosowania odkrytych przez Keplera praw ruchu planet do ruchu galaktyk. Prawa te mówią, że planety, które znajdują się bliżej Słońca, poruszają się szybciej niż te bardziej odległe. Zastosowane do galaktyk zakładają zmniejszenie prędkości gwiazd wraz ze zwiększającą się ich odległością od centrum galaktyki – w przypadku, kiedy jedynymi składnikami galaktyk są gwiazdy, gaz i pył. Astronomowie założyli, że zgodnie z prawami Keplera prędkości gwiazd ulegną zmniejszeniu, kiedy przesuną się one dalej od centrum, i po prostu narysowali krzywe rotacji, które miały odzwierciedlać to założenie.**

W latach 70 XX wieku Vera Rubin zajęła się pomiarem liniowych orbitalnych prędkości gwiazd w ramionach galaktyk spiralnych w funkcji odległości od centrum galaktyki. **Uważa-**

*ła, że krzywa rotacji galaktyk spiralnych powinna spełniać prawa Keplera.* Z obserwacji wynikało jednak, że krzywa rotacji galaktyk nie była krzywą keplerowską, a była w przybliżeniu równomierna bez względu na odległość od centrum i w przeciwieństwie do innych astronomów Vera Rubin zaakceptowała te dane i nie wykreśliła wygodnej krzywej Keplera, Vera Rubin uważała, że jest to prawdziwe zjawisko, które mówi nam bardzo wiele o Wszechświecie, jednak nie wiedziała co to było. *Jej krzywe rotacyjne sugerowały, że galaktyki mają więcej masy, niż można dostrzec, i że ta masa rozciąga się w formie halo poprzez galaktykę i daleko poza jej widzialny kraniec.* W 1974 roku teoretycy z Uniwersytetu Princeton, Jeremiah Ostriker, James Peebles i Amos Yahil, opublikowali referat, w którym stwierdzili, że mają powody, a jest ich coraz więcej, by stwierdzić, że masy zwykłych galaktyk mogą być niedoszacowane o współczynnik 10 lub wyższy.

W końcu zdano sobie sprawę, że całkowita widoczna masa galaktyk nie zgadza się z danymi z rotacji galaktyk, co przekonało kosmologów do zaakceptowania idei ciemnej materii zaproponowanej przez Fritza Zwicky'ego. Ta niewidzialna masa Wszechświata zaczęła ciążyć astronomom i fizykom.

Jak już wspomnieliśmy, wszyscy zajmujący się rotacją *galaktyk spiralnych*, zakładali, że krzywa rotacji galaktyki powinna być *krzywą keplerowską*. Zakładano, że gwiazdy w galaktykach spiralnych obiegają centrum galaktyki po orbitach kołowych, co też jest założeniem fałszywym.

Linie orbitalne prędkości nie były zgodne z oczekiwaniem, tj. nie spełniały *praw Keplera*.

We wszystkich publikacjach dotyczących ciemnej materii, jako przyczynę istnienia *ciemnej materii podają brak spełnienia praw Keplera*. Dlatego też na wstępie opisano krótko co to są prawa Keplera i omówimy prawo powszechnego ciążenia Newtona.

## 2. Przegląd źródeł pisanych i wideo.

Dla uwiarygodnienia wyżej wymienionych informacji przytaczamy:

- cytaty z literatury naukowej jak i popularnonaukowej,
- informacje o ciemnej materii z:
  - Internetu z Wikipedii i stron poświęconych ciemnej materii,
  - kadry z filmów na You Tube,
  - kadry z filmów popularnonaukowych kanałów telewizyjnych z udziałem Very Rubin.

Proszę zwrócić szczególną uwagę na:

- założenia uczonych odnośnie wyglądu krzywych rotacji galaktyk spiralnych,
- metody obliczania masy grawitacyjnej galaktyk spiralnych.

Wykaz literatury umieszczony jest na końcu książki.

### 2.1. Cytaty z literatury naukowej i popularnonaukowej

*Czerwoną, pogrubioną kursywą zaznaczono fragmenty cytatów, które wg autora są błędnym założeniem lub wnioskiem oraz błędną metodą obliczania masy galaktyk.*

[1] Ananthaswamy Anil: *Tajemnice Wszechświata*, Prószyński i S-ka 2012.

- ❖ „Wkrótce po rozpoczęciu pracy Rubin stwierdziła, że *galaktyki mają o wiele więcej masy, niż to wynika z emitowanego przez nie światła*. Nie była pierwszą osobą, którą zainteresował problem brakującej masy. W połowie lat trzydziestych XX wieku (1933, przypis autora) Fritz Zwicky zauważył, że *galaktyki w gromadzie Coma poruszały się ze zbyt wielką prędkością, by dało się ją wyjaśnić obserwowaną masą gromady*. Doszedł do wniosku, że w tej

gromadzie tak jak i w innych, **musi być więcej masy, niż wynika z obserwacji, jeśli weźmie się pod uwagę grawitację, która powinna zapewnić im spójność.** Jednak astronomowie nie traktowali poważnie zapewnień Zwicky'ego o niewidzialnej masie.

Trudno się było dziwić ówczesnym astronomom, którzy nie mieli odpowiedniego sprzętu do obserwacji, że zignorowali dowód istnienia ciemnej materii. Późniejsze badania poszczególnych galaktyk wykazały zresztą, że nawet najlepsi naukowcy mogą mieć klapki na oczach. W latach sześćdziesiątych XX wieku astronomowie mierzyli prędkości gwiazd w galaktykach, badając ich przesunięcie ku czerwieni. **Jednak badali tylko wewnętrzne obszary galaktyki i rysowali krzywe rotacyjne - wykresy ukazujące prędkość gwiazd jako funkcję ich odległości od centrum galaktyki. „Naszkicowali tylko keplerowski spadek prędkości”, mówi Rubin, odnosząc się do zastosowania odkrytych przez Keplera praw ruchu planet do ruchu galaktyk. Prawa te mówią, że planety, które znajdują się bliżej Słońca, poruszają się szybciej niż te bardziej odległe. Zastosowane do galaktyk zakładają zmniejszenie prędkości gwiazd wraz ze zwiększającą się ich odległością od centrum galaktyki - w przypadku, kiedy jedynymi składnikami galaktyk są gwiazdy, gaz i pył. Astronomowie założyli, że zgodnie z prawami Keplera prędkości gwiazd ulegną zmniejszeniu, kiedy przesuną się one dalej od centrum, i po prostu narysowali krzywe rotacyjne, które miały odzwierciedlać to założenie.”** [1, s. 50]

- ❖ „Widma miały pokazać, z jaką prędkością wodór poruszał się wokół rdzenia galaktyki. Kiedy Rubin oglądała je na płytach fotograficznych uderzyło ją, że wszystkie wyglądały podobnie. **Rotacja galaktyki była równomierna bez względu na odległość od centrum. W przeciwieństwie do poprzednich astronomów Rubin zaakceptowała te dane i nie wykreśliła wygodnej krzywej Keplera. ‘Wierzyłam od początku, że to jest prawdziwe zjawisko i że mówiło nam bardzo wiele o Wszechświecie’, opowiadała mi, ‘nie wiedziałam jednak co to było’.**

Działo się to w 1970 roku. **Nikt nie orientował się, jakie znaczenie mają odkrycia Rubin, i niektórzy astronomowie nie chcieli ich zaakceptować, chociaż wspomogła badania nad Andromedą podobnymi obserwacjami z innych galaktyk. Jej krzywe rotacyjne sugerowały, że galaktyki mają więcej masy, niż można dostrzec, i że ta masa rozciąga się w formie halo poprzez galaktykę i daleko poza jej widzialny kraniec.** W 1974 roku teoretycy z Uniwersytetu Princeton, Jeremiah Ostriker, James Peebles i Amos Yahil, opublikowali przełomowy referat, którego pierwsze zdanie brzmiało: „Mamy powody, a jest ich coraz więcej, by stwierdzić, że masy zwykłych galaktyk mogą być niedoszacowane o współczynnik 10 lub nawet wyższy”. Ten referat wraz z obserwacjami Rubin zmienił opinię astronomów i jest najczęściej cytowaną pracą w historii astronomii i kosmologii. Po latach Rubin napisała: „Do 1982 roku, po dekadzie początkowego zamieszania, większość astronomów, choć niezbyt chętnie, zaakceptowała wniosek, że galaktyka składa się z czegoś więcej niż jasnych gwiazd, gazu i pyłu, co można obserwować przy różnej długości fal”. Podczas gdy tajemnicza materia przekroczyła w galaktykach wagę świecącej materii o współczynnik 10, w skali gromad galaktyk i super gromad ciemna materia wydaje się jeszcze bardziej dominująca. Niewidzialna masa Wszechświata zaczęła coraz bardziej ciężyc astronomom.” [1, s. 51].

## [2] Brooks Michael: *13 rzeczy, które nie mają sensu*, Wydawnictwo Literackie 2011.

- ❖ „Na początku dwudziestego wieku seria obserwacji światła gwiazd ogniskowanego przez teleskop Clarka z Obserwatorium Lowella w Flagstaff doprowadziło do jednego z najdziwniejszych odkryć naukowych - że brakuje większości wszechświata.” [2, s. 19].
- ❖ „Trudno będzie bowiem sformułować teorię ostateczną, póki nie poradzimy sobie z faktem, że większość elementów i zależności, jakie miałyby opisywać jest nauce zupełnie nieznaną. Mamy to wielkie szczęście, że żyjemy w złotym wieku kosmologii. Wiemy bardzo dużo o początkach wszechświata i o tym, jak ewoluowało do stanu obecnego, ale wciąż nie mamy po-

jęcia, czym w większości jest. Nie możemy się doliczyć prawie całego wszechświata, a dokładnie - dziewięćdziesięciu sześciu procent. Gwiazdami, które widzimy na pograniczu odległych galaktyk, zdaje się poruszać niewidzialna ręka, podtrzymująca je na właściwym miejscu i nie pozwalająca im odlecieć w próżnię. Według najdokładniejszych obliczeń ta niewidzialna ręka, znana naukowcom jako ciemna materia, stanowi niemal jedną czwartą całkowitej masy wszechświata. *Ale ciemna materia to jedynie nazwa - nie mamy bowiem pojęcia co to jest.*" [2, s. 20].

- ❖ „*Każdy orbitujący układ powinien zachowywać się w ten sposób: równoważność sił grawitacji i siły odśrodkowej oznacza, że im większa odległość ciała od tego, co utrzymuje je na orbicie tym wolniej się będzie ono poruszać. (...) Problemem Zwicky'ego było jednak to, że gwiazdy z obrzeża galaktyk poruszały się zbyt szybko jak na wielkość masy, która je przyciągała.*" [2, s. 29].
- ❖ „*Wspólnie udało im się opracować krzywą rotacji pewnej galaktyki. Jest to wykres obrazujący, jak prędkość gwiazd zmienia się w miarę oddalania się od centrum galaktyki. Podobnie jak w przypadku ciężarka na sznurku wirującego wokół głowy - im większa odległość tym prędkość powinna być mniejsza. Ale u Rubin studenci szkoły morskiej zauważyli, że prędkość nie spadała - po opuszczeniu centrum krzywa wykresu pozostawała pozioma.*" [2, s. 32].
- ❖ „*Nie dostrzegano wtedy rzeczy absolutnie podstawowej, stwierdził Gross na zjeździe w 2005 roku. Nam też prawdopodobnie umyka coś równie istotnego*".

Czym więc jest ta podstawowa rzecz? Czy mamy jakieś wskazówki? Zależy, kogo o to spytamy. Adam Riess (laureat nagrody Nobla w 2011 roku w dziedzinie fizyki, przypis autora), człowiek, którego radykalna, pełna patosu retoryka zapoczątkowała erę ciemnej energii, sugeruje coś dającego do myślenia. Co, jeśli nie wiemy jeszcze wszystkiego o grawitacji? Może ciemna materia i ciemna energia nie istnieją? Może przez ostatnie cztery stulecia byliśmy ślepi na drobne nieścisłości Newtonowskiego prawa przyciągania, są być może kluczem do odzyskania zaginionego wszechświata.

[9] Smolin Lee. *Kłopoty z fizyką. Powstanie i rozkwit teorii strun, upadek nauki i co dalej*, Warszawa 2008 Prószyński i S-ka.

„*W wielu przypadkach - tych, w których prędkości są małe w porównaniu z prędkością światła, a masy nie są zbyt duże - Newtonowskie prawa grawitacji i ruchu stanowią znakomite przybliżenie przewidywań ogólnej teorii względności. Na pewno powinny nam one pomóc przewidzieć, jak na ruch poszczególnych gwiazd wpływają masy gwiazd, a także inna materia, znajdująca się w galaktyce. Lecz tego nie czynią. Newtonowskie prawo grawitacji mówi, że przyspieszenie jakiegoś obiektu podczas okrążania innego jest proporcjonalne do masy ciała, które jest okrążane. Im cięższa gwiazda, tym szybszy ruch okrążającej ją planety. To znaczy, jeśli dwie gwiazdy są okrążane przez planety, i planety znajdują się w takiej samej odległości od gwiazd, planeta okrążająca gwiazdę o większej masie będzie poruszać się szybciej. A zatem, jeśli znasz prędkość ciała krążącego po orbicie wokół gwiazdy, a także jego odległość od gwiazdy, możesz zmierzyć masę gwiazdy. To samo dotyczy gwiazd na orbicie wokół środka ich galaktyk; mierząc orbitalne prędkości gwiazd, można zmierzyć rozmieszczenie masy w danej galaktyce. Przez ostatnie dziesięciolecia astronomowie dokonywali bardzo prostych eksperymentów, w których mierzyli rozkład masy w galaktyce na dwa różne sposoby i porównywali wyniki. Po pierwsze, mierzyli masę, obserwując orbitalne prędkości gwiazd; po drugie, dokonywali bardziej bezpośrednich pomiarów masy, licząc wszystkie gwiazdy, gazy i pyły, jakie mogli zaobserwować w galaktyce. Chodziło o to, by porównać oba pomiary: każdy z nich powinien powiedzieć zarówno o całkowitej masie galaktyki, jak i o tym, w jaki sposób jest ona*



rozmieśczone. Zakładając, że dobrze rozumiemy grawitację, i że wszystkie znane formy materii emitują światło, dwie metody powinny przynosić takie same wyniki.

Nie przynoszą. Astronomowie porównali efekty zastosowania dwóch metod pomiaru masy w więcej niż w stu galaktykach. W prawie wszystkich przypadkach wyniki dwóch rodzajów pomiarów nie zgadzały się, i nie chodziło wcale o małe liczby, lecz o czynniki bliskie dziesięciu. Ponadto, błąd zawsze przybierał jeden kierunek: masy potrzebnej do wyjaśnienia zaobserwowanych ruchów gwiazd zawsze jest więcej od uzyskanej dzięki bezpośredniemu pomiarowi wszystkich gwiazd, gazów i pyłów.

Istnieją tylko dwa wyjaśnienia tego faktu. Albo zawodzi druga metoda, ponieważ istnieje znacznie więcej masy w galaktyce, niż ta, którą można zobaczyć, albo Newtonowskie prawa zawiodą, jeśli chodzi o prawidłowe przewidywanie ruchów gwiazd w polu grawitacyjnym ich galaktyki.

Wszystkie formy materii, jakie znamy świecą, albo bezpośrednio, jak w przypadku gwiazd, albo światłem odbitym od planet lub międzygwiazdnych skal, gazów i pyłu. Jeśli zatem istnieje materia, której nie widzimy, to musi ona istnieć w jakiejś nowej formie, która ani nie emituje, ani nie odbija światła. I ponieważ rozbieżność jest tak wielka, to większość materii w galaktykach musi istnieć w tej nowej formie.

Dzisiaj większość astronomów i fizyków wierzy, że jest to prawidłowe rozwiązanie zagadki. Brakująca materia naprawdę istnieje, nie jest jednak widoczna. Owa tajemnicza brakująca materia jest nazywana ciemną materią. **Hipotezę ciemnej materii preferuje się dlatego, że jedyna inna możliwość - mianowicie, że mylimy się co do praw Newtona, a także ich rozszerzenia w postaci ogólnej teorii względności - jest zbyt przerażająca, by ją w ogóle rozważać.**

Sprawy przybierają jeszcze bardziej tajemniczy obrót. Odkryliśmy ostatnio, że kiedy dokonujemy obserwacji przy coraz większych skalach odległości, rzędu miliardów lat świetlnych, równania ogólnej teorii względności nie są spełnione, nawet po dodaniu ciemnej materii. Rozszerzanie się wszechświata, wprawionego w ruch przez Wielki Wybuch około 13,7 miliardów lat temu, wydaje się przyspieszać, podczas gdy, biorąc pod uwagę zaobserwowaną materię plus obliczoną ilość ciemnej materii, powinno zachowywać się odwrotnie - zwalniać. I znowu istnieją dwa możliwe wyjaśnienia. Ogólna teoria względności mogłaby być po prostu błędna. Została ona precyzyjnie potwierdzona wyłącznie w naszym układzie słonecznym i w pobliskich układach w naszej galaktyce. Być może kiedy przechodzi się do skali porównywalnej z wymiarami całego wszechświata, ogólna teoria względności po prostu przestaje obowiązywać, (...) [9, s. 39]. Tak jak w fizyce cząstek elementarnych, wartości stałych zostały zaczerpnięte z obserwacji, nie zostały jednak jeszcze wyjaśnione przez żadną teorię.

Te kosmologiczne tajemnice składają się na piąty wielki problem.

**Problem 5 : Wyjaśnić czym jest ciemna materia i ciemna energia. Albo też, jeżeli one nie istnieją, określić, jak i dlaczego grawitacja zmienia się w wielkich skalach. Bardziej ogólnie, wyjaśnić dlaczego stałe standardowego modelu kosmologicznego, włączając w to ciemną energię, mają wartości takie, jakie mają.** [9, s. 36].

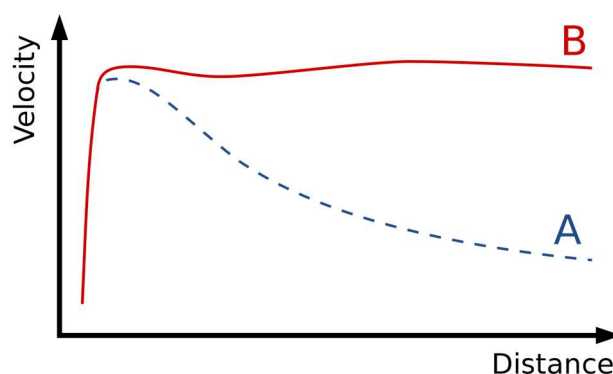
### [13] Krzywa rotacji galaktyki spiralnej WIKIPEDIA

❖ Krzywa rotacji galaktyki to wykres prędkości orbitalnej w funkcji odległości od centrum galaktyki. **W 1959 roku Louise Volders, obserwując galaktykę spiralną M33, zauważyła, że prędkość orbitalna gwiazd galaktyki nie jest zgodna z przewidywaniami praw Keplera<sup>1</sup>. Na podstawie mechaniki klasycznej kwadrat prędkości orbitalnej ciała jest proporcjonalny do masy zgromadzonej wewnątrz jej orbity, a odwrotnie proporcjonalny do**

<sup>1</sup> L. Volders Neutral hydrogen in M 33 and M 101 w *Bulletin of the Astronomical Institutes of the Netherlands* 14, 492: 323-334.

**promienia orbity, czyli odległości od środka galaktyki.** Uwzględniając rozkład gwiazd w galaktyce, Louise Volders oszacowała masę i określiła przewidywaną zależność prędkości orbitalnej od odległości od centrum galaktyki. Jednak obserwowana zależność prędkości orbitalnej od odległości od centrum różni się od tej przewidywanej. Sugeruje obecność w galaktykach innej, niewidocznej ciemnej materii. Ten fenomen nazywany jest problemem krzywej rotacji (Rys. 1) [13].

- ❖ Zależność prędkości orbitalnej gwiazd w typowej galaktyce od ich odległości od środka galaktyki przedstawia rysunek 2. Teoretyczna linia ciągła odpowiadająca założeniu, że galaktyka zawiera tylko materię widzialną, opada dla dużych odległości od centrum. Punkty prezentujące wyniki pomiarów wskazują, że prędkości orbitalne gwiazd dla dużych odległości od centrum galaktyki są w przybliżeniu stałe.



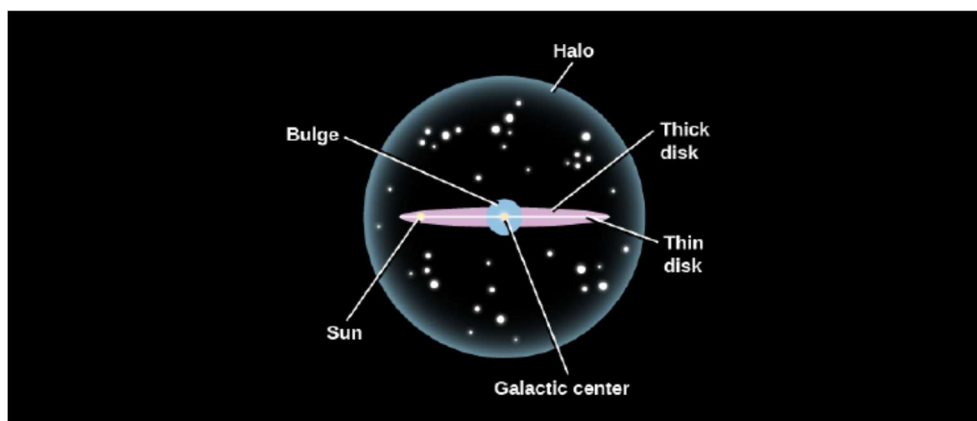
Krzywa rotacji typowej galaktyki spiralnej: przewidywana (A), obserwowana (B).

Rys. 1. Krzywa rotacji typowej galaktyki spiralnej:  
A - przewidywana, B - obserwowana [13]

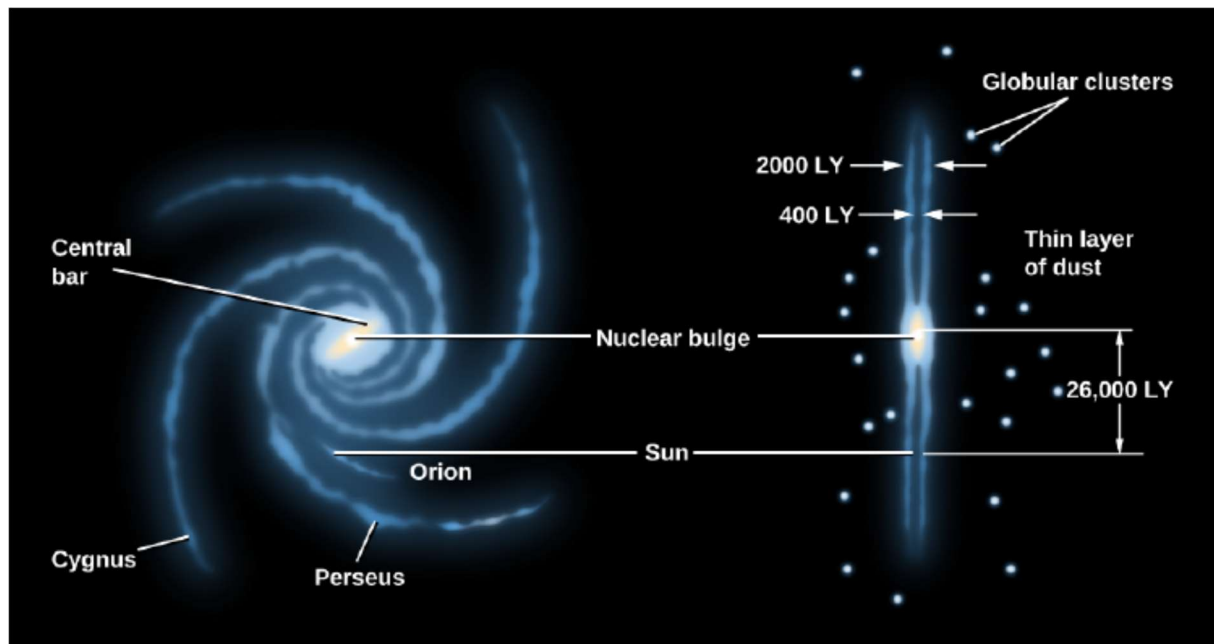
[3] Fraknoi Andrew, Morrison David, Wolff Sidney C.: *Astronomy*, OpenStax 2016.  
<https://openstax.org/details/books/astronomy>

#### ❖ Galaktyka w halo niewidzialnej materii.

W nauce to, co wydaje się rozsądnym założeniem, może później okazać się błędne (dlatego kontynuujemy obserwacje i eksperymenty przy każdej nadarzającej się okazji). Droga Mleczna to o wiele więcej niż na pierwszy rzut oka (lub nasze instrumenty). Chociaż poza promieniem 30 000 lat świetlnych jest stosunkowo mało świecącej materii, **teraz wiemy, że wiele niewidzialnej materii istnieje w dużych odległościach od centrum galaktyki**



Rysunek 25.8 Główne części galaktyki Drogi Mlecznej. Ten schemat przedstawia główne komponenty naszej Galaktyki. [3, s. 903]



**Rysunek 25.5 Schematyczne przedstawienie Galaktyki.** Obraz po lewej stronie przedstawia widok dysku spiralnego z przodu; prawy obraz przedstawia widok patrząc od krawędzi wzdłuż dysku. Główne ramiona spiralne są oznaczone. Słońce znajduje się na wewnętrznej krawędzi krótkiej ostrogi Oriona.

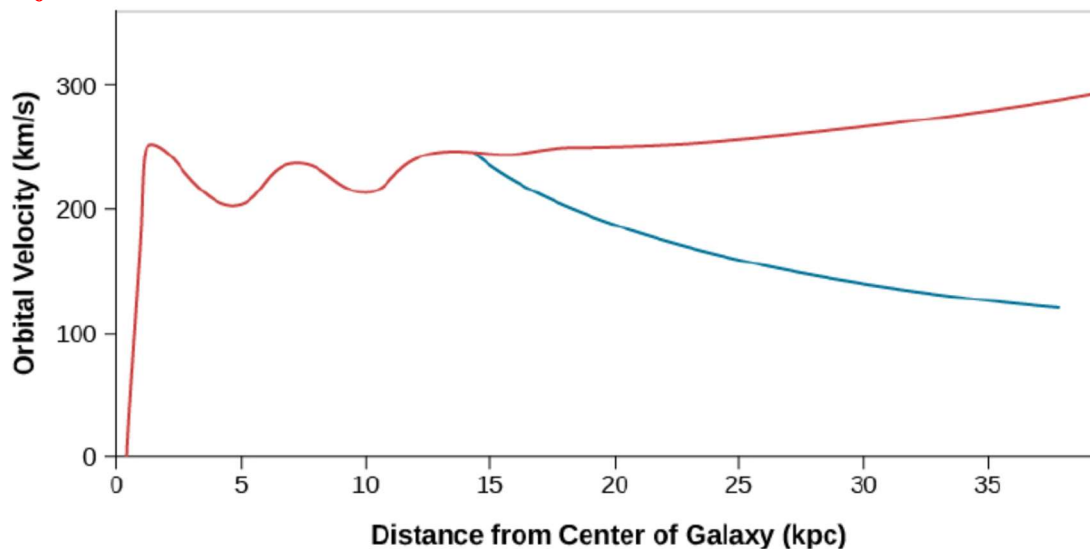
### Kepler pomaga zważyć galaktykę

Słońce, podobnie jak wszystkie inne gwiazdy w Galaktyce, krąży wokół centrum Drogi Mlecznej. **Orbita naszej gwiazdy jest prawie kołowa** i leży w dysku Galaktyki. Prędkość Słońca na swojej orbicie wynosi około 200 kilometrów na sekundę, co oznacza, że okrążenie centrum Galaktyki zajmuje nam około 225 milionów lat. Okres obrotu Słońca wokół centrum Galaktyki nazywamy rokiem galaktycznym. To dużo czasu w porównaniu z ludzkimi skalami czasowymi; w ciągu całego życia Ziemi minęło tylko około 20 lat galaktycznych. Oznacza to, że przebyliśmy tylko niewielki ułamek drogi wokół Galaktyki przez cały czas, kiedy ludzie patrzyli w niebo. **Możemy wykorzystać informacje o orbicie Słońca do oszacowania masy Galaktyki (tak jak mogliśmy „zważyć” Słońce, monitorując orbitę planety wokół niego – patrz Orbity i grawitacja).** Załóżmy, że orbita Słońca jest kołowa, a Galaktyka jest z grubsza kulista (wiemy, że Galaktyka ma kształt bardziej przypominający dysk, ale aby uprościć obliczenia, przyjmujemy to założenie, które ilustruje podstawowe podejście). Dawno temu Newton wykazał, że jeśli masz materię rozproszoną w kształcie kuli, to łatwo jest obliczyć przyciąganie grawitacyjne na jakiś obiekt znajdujący się tuż poza tą kulą: możesz założyć, że grawitacja działa tak, jakby cała materia była skoncentrowana w punkcie w środku kuli. **Na potrzeby naszych obliczeń możemy zatem założyć, że cała masa znajdująca się wewnątrz położenia Słońca jest skoncentrowana w centrum Galaktyki i że Słońce krąży wokół tego punktu z odległości około 26 000 lat świetlnych. Jest to rodzaj sytuacji, do której można bezpośrednio zastosować trzecie prawo Keplera (zmodyfikowane przez Newtona).** Wstawiając liczby do wzoru Keplera, możemy obliczyć sumę mas Galaktyki i Słońca. Jednak masa Słońca jest zupełnie trywialna w porównaniu z masą Galaktyki. Tak więc, dla wszystkich praktycznych celów, wynik (około 100 miliardów razy większa od masy Słońca) jest masą Drogi Mlecznej. Bardziej wyrafinowane obliczenia oparte na bardziej wyrafinowanych modelach dają podobny wynik. **Nasze oszacowanie mówi nam, ile masy jest zawarte w objętości wewnątrz orbity Słońca. Jest to dobre oszacowanie całkowitej masy Galaktyki tylko wtedy, gdy prawie żadna masa nie leży poza orbitą Słońca.** Przez wiele lat astronomowie uważali to założenie za uzasadnione. Liczba jasnych gwiazd i ilość świetlistej materii (czyli dowolnego materiału, z któ-

rego możemy wykryć promieniowanie elektromagnetyczne) spadają dramatycznie w odległości ponad 30 000 lat świetlnych od centrum Galaktyki. Nie spodziewaliśmy się, jak błędne było nasze założenie.

### Rozdział 25 Galaktyka Droga Mleczna

*Możemy zrozumieć, w jaki sposób astronomowie wykryli tę niewidzialną materię, pamiętając że według trzeciego prawa Keplera, obiekty krążące na dużych odległościach od masywnego obiektu będą poruszać się wolniej niż obiekty, które są bliżej tej centralnej masy. Na przykład w przypadku Układu Słonecznego planety zewnętrzne poruszają się wolniej niż planety blisko Słońca. Istnieje kilka obiektów, w tym gromady kuliste i kilka pobliskich małych galaktyk satelitarnych, które leżą daleko na zewnątrz świetlistej granicy Drogi Mlecznej. Gdyby większość masy naszej Galaktyki była skoncentrowana w obszarze świecenia, wtedy te bardzo odległe obiekty powinny poruszać się po swoich galaktycznych orbitach z mniejszymi prędkościami niż, na przykład Słońce. Okazuje się jednak, że nieliczne obiekty widoczne w dużych odległościach od świecącej granicy Drogi Mlecznej Galaktyki nie poruszają się wolniej niż Słońce. Istnieje kilka gromad kulistych i gwiazd RR Lyrae pomiędzy 30 000 i 150 000 lat świetlnych od centrum Galaktyki, a ich prędkości orbitalne są nawet większe niż Słońca.*



**Rysunek 25.13 Krzywa obrotu Galaktyki.** Prędkość orbitalna tlenku węgla (CO) i wodoru (H) w różnych odległościach od centrum Drogi Mlecznej jest pokazana na czerwono. Niebieska krzywa pokazuje, jak wyglądałaby krzywa rotacji, gdyby cała materia w Galaktyce znajdowała się w promieniu 50 000 lat świetlnych. Zamiast spadać, prędkość chmur gazu dalej pozostaje wysoka, co wskazuje na dużą masę poza orbitą Słońca. Oś pozioma pokazuje odległość od centrum galaktyki w kiloparsekach (gdzie kiloparsek to 3260 lat świetlnych).

*Co oznaczają te wyższe prędkości? Trzecie prawo Keplera mówi nam, jak szybko obiekty muszą krążyć wokół źródła grawitacji, aby nie spaść (ponieważ poruszają się zbyt wolno) ani uciec (ponieważ poruszają się zbyt szybko). Gdyby Galaktyka miała tylko masę obliczoną przez Keplera, to szybkie obiekty zewnętrzne powinny dawno temu wyrwać się z uścisku Drogi Mlecznej. Fakt, że tego nie zrobiły, oznacza, że nasza Galaktyka musi mieć większą grawitację, niż może dostarczyć świecąca materia – w rzeczywistości znacznie większą grawitację. Duża prędkość tych zewnętrznych obiektów mówi nam, że źródło tej dodatkowej grawitacji musi rozciągać się na zewnątrz od środka daleko poza orbitę Słońca. Gdyby grawitacja była dostarczana przez gwiazdy lub coś innego, co emituje promieniowanie, już dawno powinniśmy zauważyć ten dodatkowy materiał zewnętrzny. Jesteśmy więc zmuszeni*



*do niechętnego wniosku, że materia ta jest niewidoczna i poza siłą grawitacji zniknęła całkowicie niewykryta.*

*Badania ruchów najbardziej odległych gromad kulistych i małych galaktyk krążących wokół naszej planety pokazują, że całkowita masa Galaktyki wynosi co najmniej  $2 \times 10^{12}$  MSun, czyli około dwudziestokrotnie więcej niż ilość świecącej materii. Co więcej, ciemna materia (jak astronomowie nazywają niewidzialną materię) rozciąga się na odległość co najmniej 200 000 lat świetlnych od centrum Galaktyki. Obserwacje wskazują, że halo ciemnej materii jest prawie, ale nie całkiem kuliste.[3, s.922]*

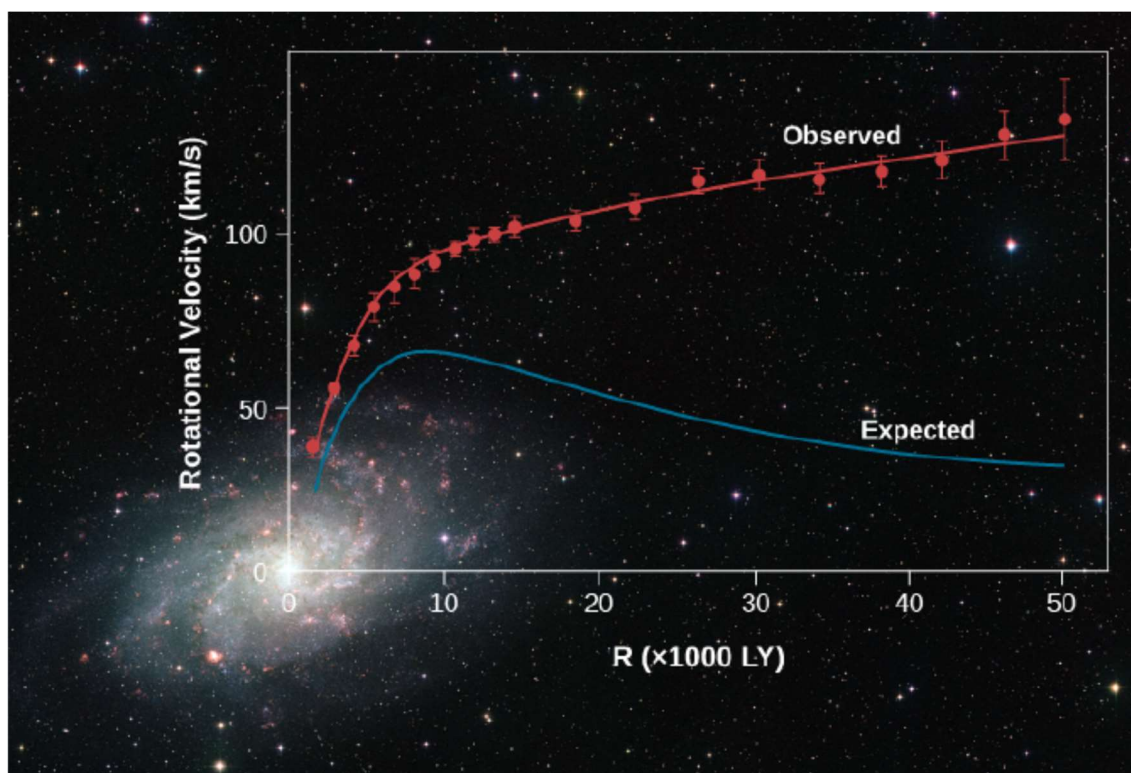
Oczywiste pytanie brzmi: z czego zbudowana jest ciemna materia? Przyjrzyjmy się liście „podejrzanym” zaczerpniętej z naszych dotychczasowych badań astronomicznych. Skoro materia ta jest niewidoczna, to wyraźnie nie może mieć postaci zwykłych gwiazd. I nie może to być gaz w żadnej formie (pamiętaj, że musi być go dużo). Gdyby to był obojętny gaz wodorowy, jego emisja linii widmowej o długości fali 21 cm zostałaby wykryta jako fale radiowe. Gdyby to był zjonizowany wodór, powinien być wystarczająco gorący, aby emitować promieniowanie widzialne. Gdyby wiele atomów wodoru połączyło się w molekuly wodoru, powinny one wytworzyć ciemne cechy w widmach ultrafioletowych obiektów leżących poza Galaktyką, ale takich cech nie zaobserwowano. Ciemna materia nie może też składać się z pyłu międzygwiazdowego, ponieważ w wymaganych ilościach pył mógłby znacząco przesłonić światło odległych galaktyk. Jakie są nasze inne możliwości? Ciemna materia nie może być ogromną liczbą czarnych dziur (o masie gwiazdowej) ani starych gwiazd neutronowych, ponieważ materia międzygwiazdowa opadająca na takie obiekty wytworzyłaby więcej promieni rentgenowskich niż obserwujemy. Przypomnijmy również, że powstawanie czarnych dziur i gwiazd neutronowych poprzedzone jest znaczną utratą masy, która powoduje rozproszenie ciężkich pierwiastków w kosmosie, które zostaną włączone do kolejnych generacji gwiazd. Gdyby ciemna materia składała się z ogromnej liczby tych obiektów, w historii Galaktyki zostałyby one wydmuchane i poddane recyklingowi wiele cięższych pierwiastków. W takim przypadku młode gwiazdy, które obserwujemy dzisiaj w naszej Galaktyce, zawierałyby znacznie większe ilości ciężkich pierwiastków niż w rzeczywistości. Wykluczono również brązowe karły i samotne planety podobne do Jowisza. Po pierwsze, musiałoby być ich strasznie dużo, żeby wytworzyć tak dużo ciemnej materii. Ale mamy bardziej bezpośredni test, czy rzeczywiście może tam czaić się tak wiele obiektów o małej masie. Jak dowiedzieliśmy się w [Black Holes and Curved Spacetime](#), ogólna teoria względności przewiduje, że ścieżka, którą przemierza światło, zmienia się, gdy przechodzi ono w pobliżu koncentracji masy. Okazuje się, że gdy oba obiekty pojawią się na niebie wystarczająco blisko siebie, masa bliżej nas może zagiąć światło z większej odległości. Przy odpowiednim ustawieniu obraz bardziej odległego obiektu również staje się znacznie jaśniejszy. Szukając tymczasowego wyjaśnienia, które pojawia się, gdy obiekt ciemnej materii w naszej własnej Galaktyce porusza się po ścieżce, którą przemierza światło gwiazd w Obłokach Magellana, astronomowie wykazali teraz, że ciemna materia nie może składać się z wielu małych obiektów o masach między milionową, a jedną dziesiątą masy Słońca.

Co zostało? Jedną z możliwości jest to, że ciemna materia składa się z egzotycznych cząstek subatomowych typu jeszcze niewykrytego na Ziemi. Obecnie trwają bardzo wyrafinowane (i trudne) eksperymenty poszukiwania takich cząstek. Bądź na bieżąco, aby zobaczyć, czy coś takiego się pojawi. Należy dodać, że problem ciemnej materii w żadnym wypadku nie ogranicza się do Drogi Mlecznej. Obserwacje pokazują, że ciemna materia musi być również obecna w innych galaktykach (których zewnętrzne regiony również krążą zbyt szybko „dla ich własnego dobra” – mają również płaskie krzywe rotacji). Jak zobaczymy, ciemna materia istnieje nawet w wielkich gromadach galaktyk, których członkowie poruszają się pod wpływem znacz-

nie większej grawitacji, niż można to wytłumaczyć samą materią świecącą. Zatrzymaj się na chwilę i zastanów, jak zdumiewający jest wniosek, do którego doszliśmy. Być może nawet 95% masy naszej Galaktyki (i wielu innych galaktyk) jest tylko niewidoczne, ale nawet nie wiemy, z czego jest zbudowana. Gwiazdy i surowce, które możemy obserwować, mogą być zaledwie wierzchołkiem kosmicznej góry lodowej; za tym wszystkim może leżeć inna sprawa, być może znajoma, może zaskakująco nowa. **Zrozumienie natury tej ciemnej materii jest jednym z największych wyzwań dzisiejszej astronomii.**

### Ciemna materia w galaktykach i wokół nich

W przeciwieństwie do naszego lokalnego sąsiedztwa w pobliżu Słońca i Układu Słonecznego jest (jak widzieliśmy w Drodze Mlecznej Galaktyka) liczne dowody silnie sugerujące, że około 90% masy w całej galaktyce ma postać halo ciemnej materii. Innymi słowy, ciemnej materii jest około dziewięć razy więcej niż materii widzialnej.



**Rysunek 28.23 Obrót wskazuje ciemną materię.** Widzimy siostrę Drogi Mlecznej, galaktykę spiralną Andromedy, na wykresie pokazującym prędkość, z jaką gwiazdy i obłoki gazu krążą wokół galaktyki w różnych odległościach od centrum (czerwona linia). Podobnie jak w przypadku Drogi Mlecznej, prędkość obrotowa (lub prędkość orbitalna) nie zmniejsza się wraz z odległością od środka, czego można by się spodziewać, gdyby zbiór obiektów obracał się wokół wspólnego środka. Obliczenia (niebieska linia) oparte na całkowitej masie widocznej jako gwiazdy, gaz i pył przewidują, że prędkość powinna być znacznie niższa przy większych odległościach od centrum. Rozbieżność między dwiema krzywymi wskazuje na obecność halo masywnej ciemnej materii rozciągającej się poza granice świecącej materii. Ta ciemna materia powoduje, że wszystko w galaktyce orbituje szybciej, niż mogłaby to wyjaśnić sama obserwowana materia. (tło kredytowe: modyfikacja pracy przez ESO) [3, s.1037]

Takie wątki sugerują, że ciemna materia znajduje się w dużym halo otaczającym świecące części każdej galaktyki. Promień halo wokół Drogi Mlecznej i Andromedy może mieć nawet 300 000 lat świetlnych, znacznie większy niż widoczny rozmiar tych galaktyk.

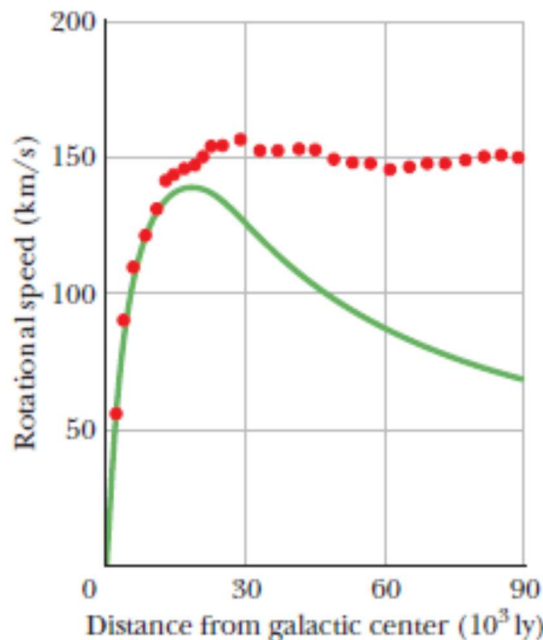
Astronomowie znaleźli kilka gwiazd w zewnętrznych obszarach Drogi Mlecznej poza jej jasnym dyskiem, a te gwiazdy obracają się bardzo szybko wokół jej centrum. Masa zawarta we

wszystkich gwiazdach i całej materii międzygwiazdowej, którą możemy wykryć w galaktyce nie wywiera wystarczającej siły grawitacyjnej, aby wyjaśnić, w jaki sposób te szybko poruszające się gwiazdy pozostają na swoich orbitach i nie odlatują. Tylko mając duże ilości niewidocznej materii, galaktyka może utrzymać tak szybko poruszających się zewnętrznych gwiazd. Ten sam wynik uzyskano również dla innych galaktyk spiralnych.

Rysunek 28.23 jest przykładem rodzaju obserwacji, jakie astronomowie prowadzą dla galaktyki Andromedy, członka naszej Grupy Lokalnej. Obserwowana rotacja galaktyk spiralnych, takich jak Andromeda, jest zwykle widoczna na wykresach, znane jako krzywe rotacji, które pokazują prędkość w zależności od odległości od centrum galaktyki.

[5] Halliday D., Resnik R., Walker J.: *Podstawy fizyki T.5*, Warszawa 2005 PWN.

- ❖ „Linia ciągła na rysunku 44-5 pokazuje wynik, którego można by oczekiwać, jeżeliby cała masa galaktyki była związana z obszarem emitującym światło. **Zależność, którą wyznaczyli Rubin i Ford, nie jest zgodna z obserwacjami dla Układu Słonecznego.** Na przykład prędkość orbitalna Plutona (najdalszej od Słońca planety) wynosi zaledwie dziesiątą część prędkości Merkurego (planety najbliższej Słońca).” [6, s. 1358].



Rys. 44-5 Zależność prędkości orbitalnej gwiazd w typowej galaktyce od ich odległości od środka galaktyki. Teoretyczna linia ciągła odpowiadająca założeniu, że galaktyka zawiera tylko materię widzialną, opada dla dużych odległości od centrum. Punkty prezentujące wyniki pomiarów wskazują, że prędkości orbitalne gwiazd dla dużych odległości od centrum galaktyki są w przybliżeniu stałe.

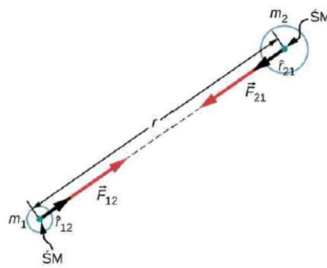
[6] Ling Samuel J., Sanny Jeff, Moebis William: *Fizyka dla szkół wyższych*, OpenStax Polska 2018. <https://openstax.org/details/books/fizyka-dla-szkol-wyzszych-polska>

- ❖ "Prawo powszechnego ciążenia (ang. Newton's Law of Universal Gravitation) można wyrazić jako

$$\vec{F}_{12} = G \frac{m_1 m_2}{|r_{12}|^2} \vec{r}_{12}, \quad (13.1)$$

gdzie  $\vec{F}_{12}$  jest siłą działającą na ciało 1 ze strony ciała 2,  $G$  jest stałą grawitacji,  $m_1$  jest masą ciała 1,  $m_2$  jest masą ciała 2,  $r$  jest odległością między tymi ciałami,  $\vec{r}_{12}$  jest wektorem jednostkowym o zwrocie skierowanym od ciała 1 do ciała 2.





*Rysunek 13.2* Siła grawitacji działająca wzdłuż prostej łączącej środki mas dwóch ciał.

Jak widać na Rysunku 13.2, wektor  $\vec{F}_{12}$  jest skierowany od ciała 1 do ciała 2 i reprezentuje siłę przyciągania między ciałami. Równy co do wartości, ale o przeciwnym zwrocie, wektor  $\vec{F}_{21}$  reprezentuje siłę grawitacji wywieraną na ciało 2 przez ciało 1.

Te dwie równe co do wartości lecz przeciwnie skierowane siły odzwierciedlają trzecią zasadę dynamiki Newtona, która była omawiana wcześniej. Należy zwrócić uwagę, że ściślej rzecz ujmując, Równanie 13.1 odnosi się do mas punktowych — cała masa zlokalizowana jest w jednym punkcie. Jednak wzór ten można zastosować także do dowolnych ciał o symetrii sferycznej, gdzie  $r$  jest odległością między środkami mas tych ciał. **W wielu przypadkach równanie to można zastosować także dla niesymetrycznych ciał, jeśli tylko odległość między nimi jest wystarczająco duża w porównaniu do ich rozmiarów. Wówczas można przyjąć, że  $r$  jest odległością między środkami mas tych ciał. W takim przypadku ciała te możemy traktować jak obiekty punktowe.** [6, s. 646,647]

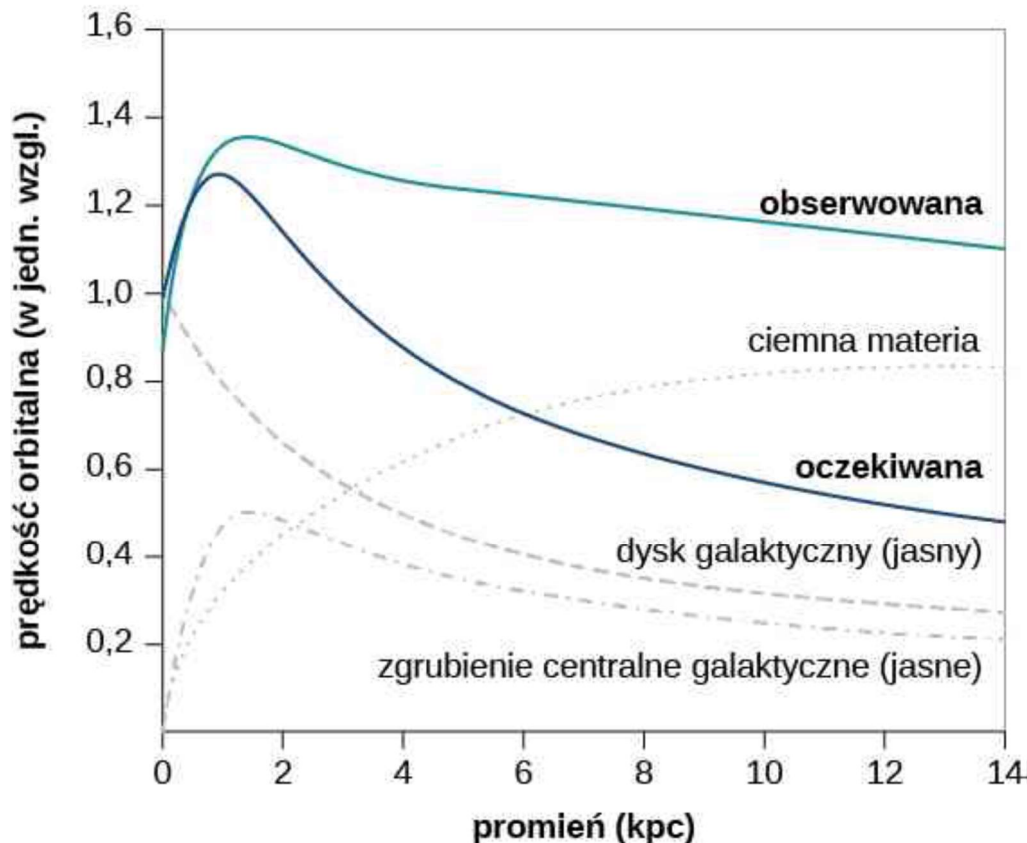
❖ "Ciemna materia [6 s.691]

**Gwiazdy krążące wokół samego centrum naszej galaktyki dostarczają silnych dowodów na to, że znajduje się tam czarna dziura, ale orbity gwiazd oddalonych od jej środka sugerują występowanie również innego, intrygującego zjawiska, obserwowanego pośrednio.** Przypomnijmy sobie z podrozdziału *Grawitacja przy powierzchni Ziemi*, że w celu obliczenia siły grawitacji, wywieranej przez ciało sferycznie symetryczne na inne masy, przyjmujemy, iż cała jego masa znajduje się w centrum takiego ciała. **Podobnie możemy potraktować całkowitą masę, która znajduje się wewnątrz obszaru ograniczonego orbitą dowolnej gwiazdy w naszej galaktyce. Zakładamy po prostu, że cała ta masa znajduje się w centrum dysku Drogi Mlecznej. Możemy oszacować tę masę sumując masy wszystkich widocznych gwiazd w tym obszarze, a następnie dodając do tego wyniku masę czarnej dziury w centrum.**

**Gdy to zrobimy, zauważymy, że prędkość orbitalna gwiazd jest zdecydowanie za duża, aby była spowodowana taką ilością materii.** Rysunek 13.32 przedstawia prędkość orbitalną gwiazd w zależności od ich odległości od środka Drogi Mlecznej. **Niebieska linia reprezentuje prędkości, jakich można się spodziewać na podstawie naszego oszacowania masy, podczas gdy zielona krzywa odzwierciedla dane pomiarowe. Najwyraźniej dużej części materii nie widzimy. Szacuje się, że materii, której nie widać, jest pięciokrotnie więcej niż tej, którą możemy obserwować. Nazwano ją ciemną materią (ang. dark matter). Ponadto profil prędkości nie odzwierciedla oczekiwanego rozkładu widocznych gwiazd. Nie tylko szacunkowa masa całkowita materii jest niezgodna z danymi, ale jej oczekiwany rozkład także jest niezgodny z obserwacją. Zjawisko to nie dotyczy jedynie naszej galaktyki, ale wydaje się cechą wszystkich galaktyk. Problem ten został po raz pierwszy zauważony w latach trzydziestych XX wieku, kiedy mierzono ruch galaktyk w obrębie klastrów. Okazało się, że poruszały się one wokół środka masy tych klastrów szybciej, niż wskazywałyby na to szacunki ich widocznej masy.**



## Krzywa rotacji galaktyki

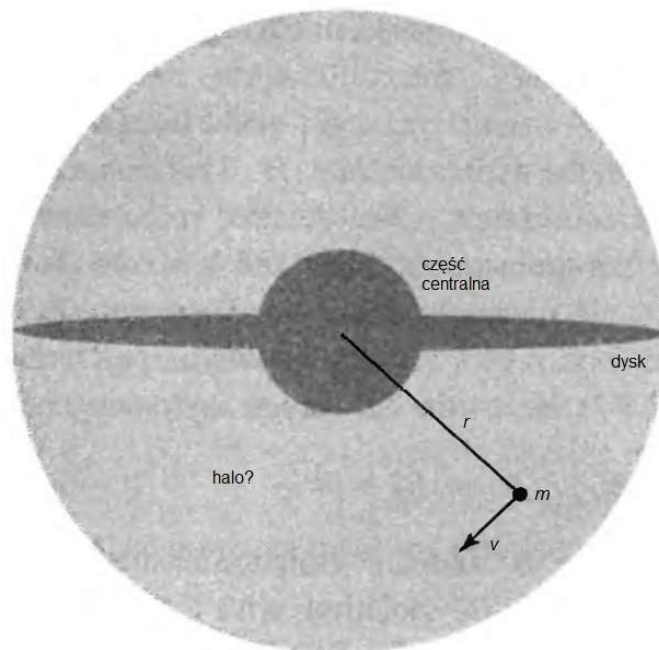


Rysunek 13.32 *Niebieska krzywa wskazuje oczekiwaną prędkość orbitalną gwiazd w Drodze Mlecznej wyznaczoną na podstawie masy gwiazd, które możemy zobaczyć. Zielona krzywa wskazuje, że rzeczywiste prędkości gwiazd są większe, co sugeruje obecność dodatkowej materii, której nie można zobaczyć.* (Źródło: modyfikacja pracy Matthew Newby)

Istnieją dwie dominujące koncepcje na temat tego, czym może być ta materia — WIMP i MACHO. WIMP (ang. *Weakly Interacting Massive Particles*) są to słabo oddziałujące masywne cząstki. Cząstki te (neutrino są jednym z przykładów) oddziałują bardzo słabo ze zwykłą materią, a więc są bardzo trudne do wykrycia. MACHO (ang. *Massive Astrophysical Compact Halo Object*) to masywne zwarte obiekty halo (np. gwiazdy neutronowe, brązowe karły), które składają się ze zwykłej materii barionowej, takiej jak neutrony i protony. Emitują one bardzo mało promieniowania, a więc są trudne do wykrycia przy użyciu współczesnej techniki obserwacyjnej. Z oboma pomysłami związane są nierozwiązane dotąd problemy i trzeba przeprowadzić wiele dalszych badań, aby ostatecznie rozwiązać te kwestie." [6, s. 692]

[7] Perkins Donald H., *Podstawy fizyki wysokich energii*, Wyd. 2. Warszawa PWN 2004.

- ❖ "Pomiary rozkładu prędkości rotacji gwiazd i gazu jako funkcji odległości od centrum galaktyki **mocno przemawiają za istnieniem ciemnej (tzn. nieświecącej) materii**. Rozważmy gwiazdę o masie  $m$  w odległości  $r$  od centrum galaktyki, poruszającą się z prędkością  $v$  wokół centrum, jak pokazano na rysunku 10.5.



**Rys. 10.5.** Galaktyka spiralna widziana z boku: składa się z kulistej części centralnej, dysku i — przypuszczalnie — otoczki z ciemnej materii. [9, s.320]

Wówczas

$$\frac{m \cdot v^2}{r} = \frac{m \cdot M(<r) \cdot G_N}{r^2} \quad (10.40)$$

gdzie  $M(<r)$  jest masą zawartą wewnątrz promienia  $r$ . W galaktyce spiralnej, takiej jak nasza, większość materii świecącej jest zawarta w części centralnej i w cienkim dysku. Dla gwiazdy w części centralnej można oczekiwać  $M \propto r^3$ , co daje

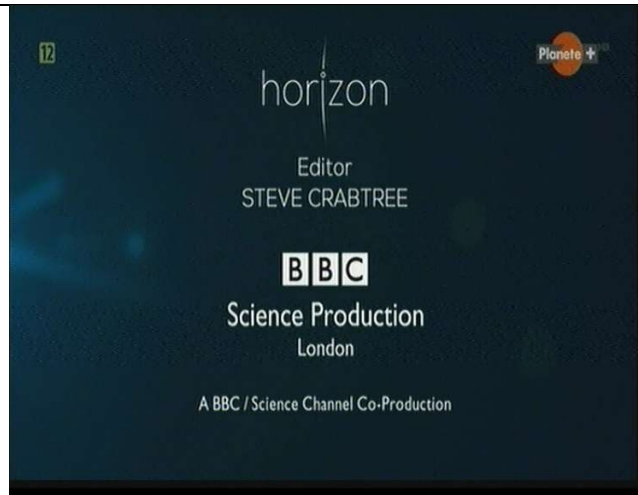
$$v \propto r,$$

natomiast dla gwiazdy daleko poza częścią centralną  $M \simeq \text{const}$ , zatem

$$v \propto r^{-1/2}.$$

Widzimy więc, że prędkość powinna rosnąć przy małych  $r$  i **maleć przy dużych  $r$** . Jednak obserwowane rozkłady prędkości są płaskie dla dużych  $r$ , przynajmniej w zakresie  $r$  wewnątrz promienia dysku, co sugeruje, że całkowita masa rośnie liniowo z promieniem..." [10, s. 319, 320]

**[19] Film o ciemnej materii emitowany w telewizji kanał Planet+ z udziałem Very Rubin**



**"ZAGADKA CIEMNEJ ENERGII"**



KADR 26:27

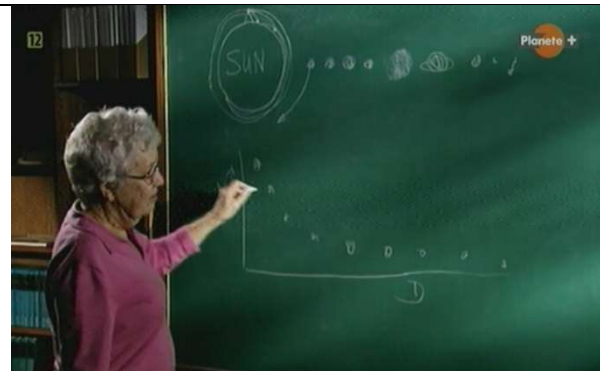


KADR 26:33



KADR 05:32

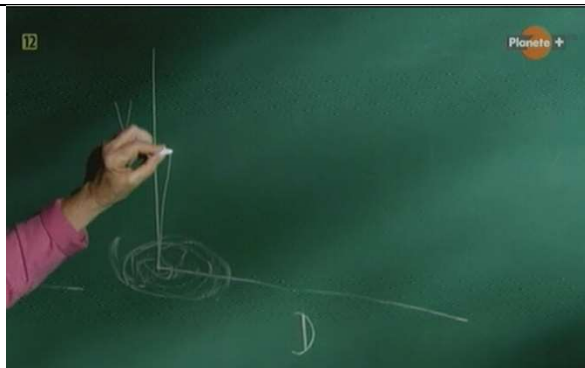
*"W 1975 astronom Vera Rubin dokonała zaskakującego odkrycia."*



KADR 05:41

*V.R. "Jeśli prędkość planet przedstawimy jako funkcję odległości od Słońca Merkurego, Wenus, Ziemi, Marsa, Jowisza, Saturna, Urana, Neptuna, Plutona stwierdzimy, że prędkość Merkurego jest znacznie większa niż Plutona."*

*L. "Wykres ten otrzymał nazwę krzywej rotacji. Ukazuje jak działa siła prawo powszechnego ciążenia. Im dalej od Słońca tym siła grawitacji jest mniejsza."*



KADR 06:22

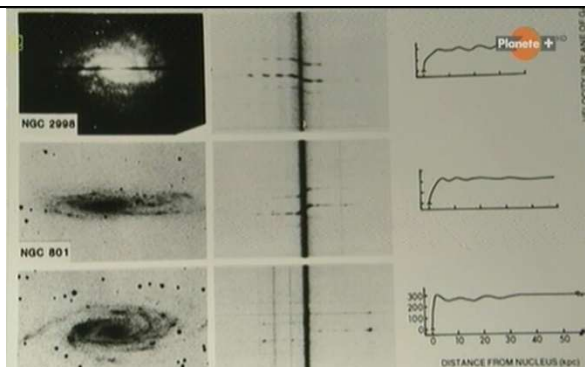
**V.R.** *"To samo dotyczy galaktyk. Z tą różnicą, że w galaktyce spiralnej gwiazdy na orbicie utrzymuje położona w jej centrum czarna dziura będąca źródłem grawitacji."*

**L.** *Vera Rubin postanowiła zbadać krzywe rotacji galaktyk. Skierowała teleskopy na galaktykę Andromedy, naszą najbliższą sąsiadkę."*



KADR 06:49

**V.R.** *"Otrzymane wyniki przeniosłam na papier i stwierdziłam, że gwiazdy położone dalej wcale nie zwalniały. Poruszały się równie szybko, jak te bliżej centrum galaktyki. Stwierdziliśmy, że utrzymywały stałą prędkość aż do końca pola obserwacji."*



KADR 07:10

**V.R.** *"To była niespodzianka. Należało ją wyjaśnić. W takiej sytuacji gwiazdy powinny odlecieć w przestrzeń kosmiczną, ale tego nie robiły. Wykresy wszystkich galaktyk spiralnych były płaskie. Jedyne wyjaśnienie brzmiało - musi istnieć coś, co wytwarza dodatkową grawitację, zapewnia galaktykom spójność i spłaszcza krzywe prędkości. To niewidzialne coś otrzymało nazwę ciemnej materii. Już samo jej istnienie wywołało szok, ale niemal jeszcze większe zaskoczenie przyniosły pierwsze obliczenia. Wynikało z nich, że jest jej 90 razy więcej niż materii widzialnej. W latach 80, dzięki nowym metodom pomiaru ciemnej materii odkryto, że jednak jest jej znacznie mniej niż wynikało z przewidywań. Niedobór wynosił 70%. Kosmologowie popadli w zdumienie."*



KADR 08:41

**P.P.** *"I nadszedł rok 98. Paul Permuter snuł wtedy bardzo poważne rozmyślenia. Chciałem dogłębnie wniknąć w kwestie istotnych dla świata w którym żyjemy. Świat rozszerza się coraz szybciej. Idea ciemnej energii, która przyniosła mu Nobla, była frapująca i budziła zakłopotanie, ale otrzymała też ważną postać liczbową. ... Wystarczy do tego równania dodać energię aby otrzymać masę, której kosmologowie nie mogą się doliczyć. Wszechświat był teraz kompletny. W 4% składał się z widzialnej materii barionowej, w 26% z ciemnej materii, a 70% niedobór wypełniała ciemna energia. Jak dotąd mimo heroicznego wysiłków i zdumiewających dowodów jej istnienia nie udało się zbadać ciemnej materii, Ciemna energia zaś, naukowo równie użyteczna co kłopotliwa, wciąż pozostaje ogromną zagadką."*

## Filmy na You Tube



## [16] Bliżej Nauki: Na tropie ciemnej materii - dr hab. Grzegorz Zuzel, prof. UJ

Bliżej Nauki: Na tropie ciemnej materii - dr hab. Grzegorz Zuzel, prof. UJ

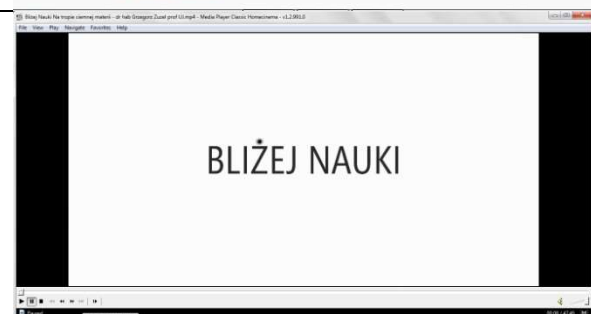
<https://www.youtube.com/watch?v=Y9o-tf8cbWs>

#BliżejNauki  
Bliżej Nauki: Na tropie ciemnej materii - dr hab. Grzegorz Zuzel, prof. UJ  
16 167 wyświetleń • Data premiery: 17 lis 2020  
280 14 UDOSTĘPNIJ ZAPISZ

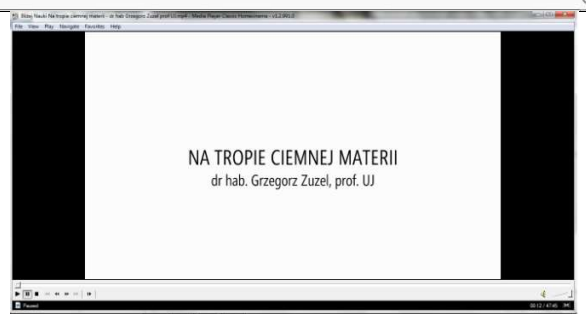
**Wydział FAIS - Uniwersytet Jagielloński**  
6,07 tys. subskrybentów

Na wykładzie przedstawione zostały wyniki kilku obserwacji astrofizycznych sugerujących istnienie ciemnej materii. Omówione zostaną wyniki niektórych eksperymentów, w których poszukuje się hipotetycznych cząstek będących kandydatami na ciemną materię. Opisany zostanie też nowy eksperyment DarkSide z udziałem naukowców z Instytutu Fizyki UJ, zlokalizowany w podziemnym laboratorium w Gran Sasso we Włoszech, w którym poszukuje się cząstek ciemnej zimnej materii.

„Bliżej Nauki” to cykl wykładów popularnonaukowych organizowanych na Wydziale Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie.  
<https://blizejnauki.fais.uj.edu.pl/>  
#BliżejNauki



Kadr 00:08



Kadr 00:10



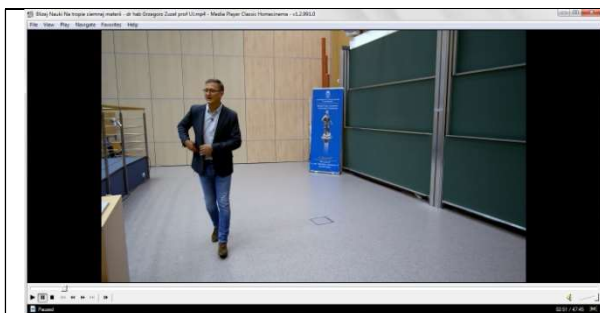
Kadr 00:24

*"Dzisiejszy wykład będzie poświęcony zagadkowej ciemnej materii."*



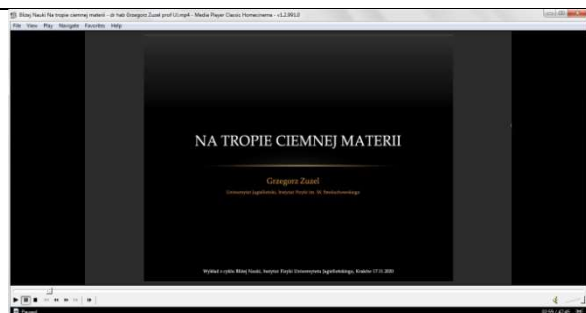
Kadr 00:35

*"Tematykę tę przybliży nam pan dr hab. Grzegorz Zuzel, który ukończył studia w Uniwersytecie Jagiellońskim na kierunku fizyka jądrowa. ... Zaś w latach 2000 ÷ 2009 pracował w Instytucie Fizyki Jądrowej im. Maxa Plancka w Heidelbergu, gdzie zajmował się problemami związanymi z rejestracją bardzo rzadkich reakcji jądrowych, wywołanych np. przez neutrino czy cząstki ciemnej materii. ... oraz oddziaływań ciemnej materii, zimnej materii, to eksperyment DarkSide, jest współautorem szeregu prac poświęconych tej tematyce."*



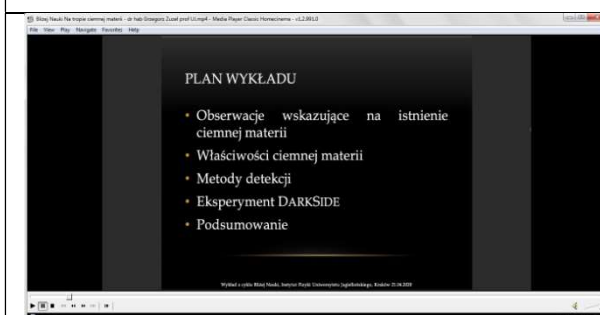
Kadr 02: 41

"Dziękuję, przede wszystkim za zaproszenie i możliwość wygłoszenia tego wykładu i powiedzenia Państwu coś bliżej na temat ciemnej materii."



Kadr 02:56

"Tak, jak tytuł tej prezentacji mówi, **NA TROPIE CIEMNEJ MATERII**, będziemy dzisiaj dyskutować na temat **mistycznej ciemnej materii, która być może, czy też z dużym prawdopodobieństwem, występuje we Wszechświecie.**"



Kadr 03:11

"Na początku chciałbym powiedzieć kilka słów na temat  **pewnych obserwacji astronomicznych, czy astrofizycznych, które wskazują, z dużym prawdopodobieństwem, na to, że ciemna materia musi występować we Wszechświecie. Następnie mamy punkt dotyczący właściwości ciemnej materii. Tutaj od razu powiem, że w sumie nie wiemy zbyt wiele o ciemnej materii, więc nie zajmie nam to zbyt dużo czasu. W każdym razie, no mamy pewne przypuszczenia, jakie właściwości ta ciemna materia powinna mieć.**"



Kadr 03:54

"Jeżeli chodzi o przesłanki, które wskazują na to, że ciemna materia powinna występować we Wszechświecie, to jedną z takich najstarszych, czyli jedną z najstarszych takich przesłanek, związana jest z pomiarami rozkładu prędkości materii w galaktykach. I tutaj mamy zdjęcie takiej galaktyki spiralnej, zresztą podobnej jak nasza Droga Mleczna i oczywiście ta materia tutaj zgrupowana jest w takich ramionach i całość oczywiście wiruje i teraz już w latach 30 ubiegłego wieku zaczęto mierzyć prędkość tej materii, która porusza się tutaj w tej galaktyce."



Kadr 04:30

"I teraz, jeżeli weźmiemy pod uwagę taką klasyczną mechanikę, gdzie, jeżeli mamy do czynienia z ruchem obrotowym, no to zakładamy, że możemy założyć, że siła grawitacji musi być równoważona przez siłę odśrodkową w takim ruchu, żeby ciało mogło się stabilnie poruszać po orbicie, no to wtedy wywnioskujemy, że tutaj, oczywiście im dalej jesteśmy od centrum galaktyki, tym ta prędkość poruszania się materii, czy jakiegoś obranego obiektu powinna być **mniejsza. I tutaj, z matematycznego punktu**



Kadr 05:03

"I wykonano cały szereg pomiarów dla różnych galaktyk i okazało się, że jednak ta zależność tutaj nie jest spełniona i te mierzone prędkości zasadniczo są **stałe w funkcji tego promienia.**

widzenia powinna być zależność tej prędkości, jak jeden nad pierwiastek z  $R$ , gdzie  $R$  jest odległością od centrum tej galaktyki.

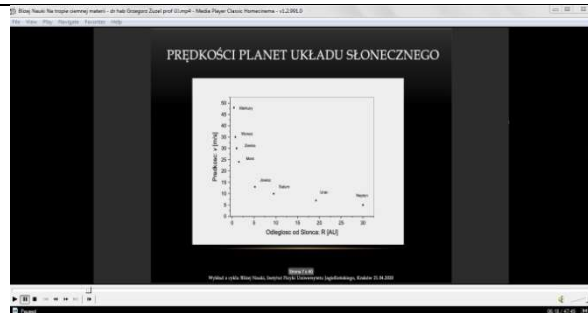


Kadr 05:20

"No i teraz powstał pewien problem, w jaki sposób można to wytłumaczyć. I tutaj pierwszy, w zasadzie rozwiązanie, czy też potencjalne rozwiązanie tego problemu podał w latach 30 ubiegłego wieku szwajcarski astronom Fritz Zwicky, który powiedział, że:

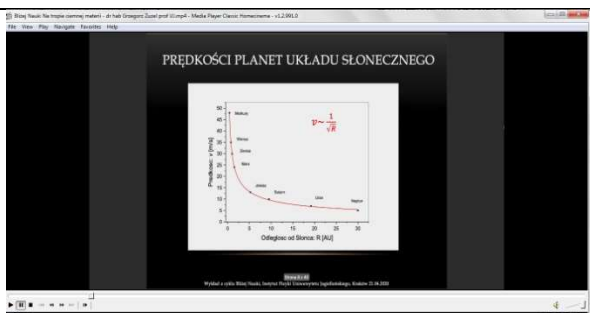
"Przypuśćmy, że ta galaktyka znajduje się w pewnym, takim obłoku materii, której my nie widzimy, czyli w takim halo ciemnej materii, ponieważ, no skoro my jej nie widzimy to nie świeci, czyli jest ciemna, która jest rozłożona ze stałą gęstością, czyli rozkład gęstości tej materii jest stały."

No i teraz, jeśli coś takiego przyjmujemy no to oczywiście w ten sposób można wytłumaczyć tą zależność, tutaj, stałej prędkości w funkcji odległości od centrum naszej Galaktyki, ponieważ im jesteśmy dalej, tym oczywiście, wkład tutaj od tej świecącej materii jest coraz mniejszy i on jest zdominowywany stopniowo poprzez tą ciemną materię. Teraz oczywiście można zapytać, czy rzeczywiście ta prędkość powinna zmieniać się jak jeden z pierwiastek nad  $R$ .



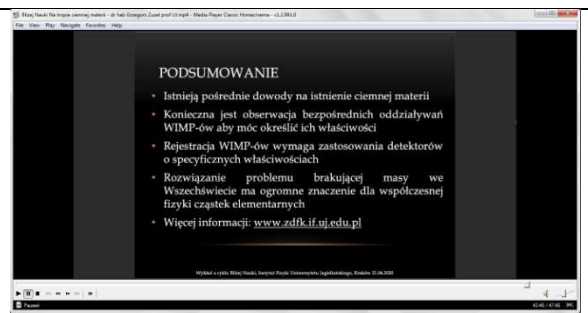
Kadr 06:24

"Możemy sobie zrobić taki prosty eksperyment i wykreślić np. dla naszego Układu Słonecznego prędkości planet w funkcji odległości od Słońca. I to jest pokazane tutaj na tym wykresie. Czyli mamy tutaj na osi poziomej odległość danej planety od Słońca, w jednostkach astronomicznych, dla Ziemi to jest dokładnie jeden, natomiast tutaj na osi pionowej mamy prędkość danej planety w m/s [powinno być km/s, przypis autora]. Widać, że, mamy tutaj Merkury, Wenus, Ziemia, Mars, Jowisz, Saturn, Uran, Neptun. Widać, że ta prędkość rzeczywiście szybko maleje z odległością od Słońca no i teraz można sobie spróbować tutaj dopasować teoretyczną funkcję typu jeden nad pierwiastek z  $R$  kwadrat [powinno być jeden nad pierwiastek z  $R$ , przypis autora]



Kadr 06:50

"Jeżeli to zrobimy to widzimy, że rzeczywiście tutaj ta zgodność jest bardzo dobra. Czyli, jeżeli mamy do czynienia z takim klasycznym oddziaływaniem grawitacyjnym, gdzie siła oddziaływania pomiędzy dwoma obiektami jest zależna, jak jeden nad  $R$  kwadrat, to oczywiście tutaj prędkość, w takim układzie, powiedzmy, jak galaktyka czy gromady galaktyk, materii powinna się zmieniać z odległością od centrum jak jeden nad pierwiastek z  $R$ . Jeżeli tak nie jest to z dużym prawdopodobieństwem możemy sądzić, że jest tam jakiś dodatkowy składnik, czyli jakaś materia, której nie widzimy, czyli ta nasza ciemna materia.



Kadr 43:39

"Podsumowując, możemy powiedzieć, że istnieją jakieś bezpośrednie dowody, możemy to wywnioskować na bazie obserwacji astronomicznych i astrofizycznych na istnienie cząstek ciemnej zimnej materii. No, żeby określić ich właściwości, to musimy dokonać bezpośredniej rejestracji czyli musimy mieć taki bezpośredni dowód istnienia tych cząstek. Musimy zaobserwować ich oddziaływanie po to, żeby móc powiedzieć coś na temat masy czy też tej siły ich oddziaływania. Rejestracja tych WIMP-ów wymaga zastosowania detektorów o specyficznych właściwościach, czyli one muszą być zbudowane z materiałów takich praktycznie wolnych od izotopów promieniotwórczych, muszą być umiesz-



czone głęboko pod ziemią itd. *No i rozwiązanie problemu brakującej masy we Wszechświecie ma, no aktualnie, ma ogromne znaczenie z punktu widzenia, nie tylko astronomii, astrofizyki, ale też z punktu widzenia fizyki cząstek elementarnych.*"

[17] Ciemna strona Wszechświata - A. Durkalec i A. Hryczuk - NCBJ

Ciemna strona Wszechświata - A. Durkalec i A. Hryczuk - NCBJ

[https://www.youtube.com/watch?v=\\_oMfekte2P7M](https://www.youtube.com/watch?v=_oMfekte2P7M)

Data premiery: 23 wrz 2020



[NCBJ Świerk](#)

Wykład popularny przygotowany na warszawski Festiwal Nauki 2020. Dr Anna Durkalec z Zakładu Astrofizyki NCBJ i dr Andrzej Hryczuk z Zakładu Fizyki Teoretycznej NCBJ opowiadają z punktu widzenia astrofizyka i fizyka teoretyka o tym czego niemal nie widać

[https://www.youtube.com/watch?v=\\_oMfekte2P7M](https://www.youtube.com/watch?v=_oMfekte2P7M)



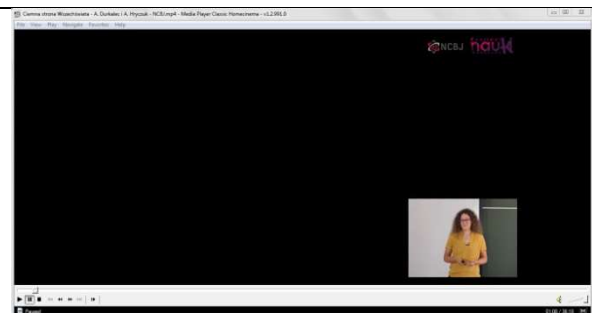
Kadr 00:00

"Cześć, nazywam się Anna Durkalec i jestem astrofizykiem. Nazywam się Andrzej Hryczuk i jestem fizykiem teoretykiem zajmującym się fizyką cząstek elementarnych. Oboje pracujemy w Narodowym Centrum Badań Jądrowych i dzisiaj chcielibyśmy Wam opowiedzieć o tym, czym jest ciemna materia. Ja od strony astrofizycznej, a ja fizyki cząstek."



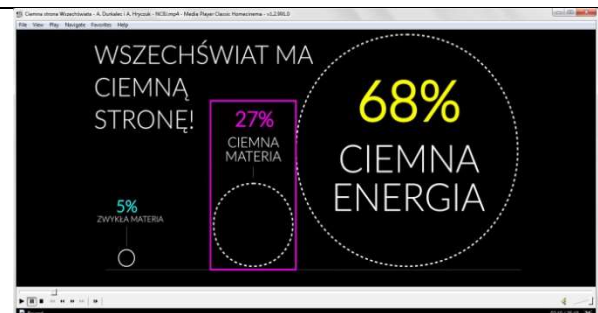
Kadr 00:19

"Zacznijmy od ciemnej strony Wszechświata. Ale zanim przejdziemy do ciemnej strony Wszechświata, chciałabym, żebyście pomyśleli o Wszechświecie."



Kadr 01:06

"Ale prawda jest taka, że zdecydowana większość Wszechświata wygląda tak. Jest zimna, ciemna i pusta."

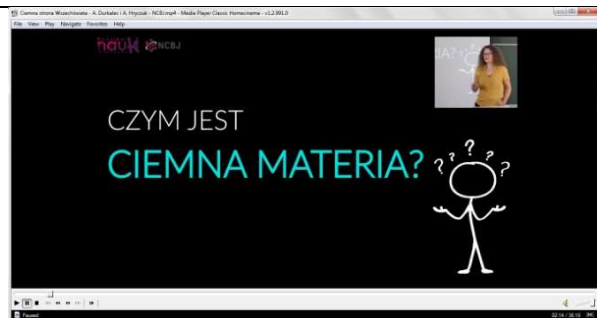


Kadr 01:13

"Ale czy naprawdę pusta? Może zaczniemy od początku. Ponieważ okazuje się, że to wszystko co jest piękne i świecące we Wszechświecie, wszystkie planety,



wszystkie gwiazdy, wszystkie galaktyki i cały gaz stanowią niecałe 5% składu Wszechświata. We Wszechświecie niepodzielnie rządzi ciemna strona. I niestety astrofizycy muszą sobie z tym jakoś radzić. ... Następne 27% składu Wszechświata, to tak zwana ciemna materia. Będziemy się dzisiaj na niej głównie skupiać. Ale to nie wszystko. Jest jeszcze coś co nazywamy ciemną energią. I jest ona, w skrócie, odpowiedzialna za przyspieszające rozszerzanie się Wszechświata.



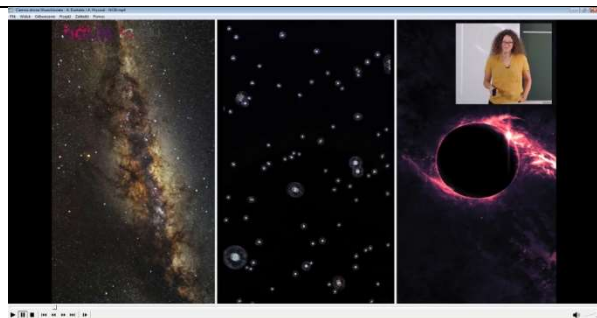
Kadr 02:14

„Na tym wykładzie skupimy się na ciemnej materii. Czym jest i dlaczego sądzimy, że istnieje. Czym jest ciemna materia?”



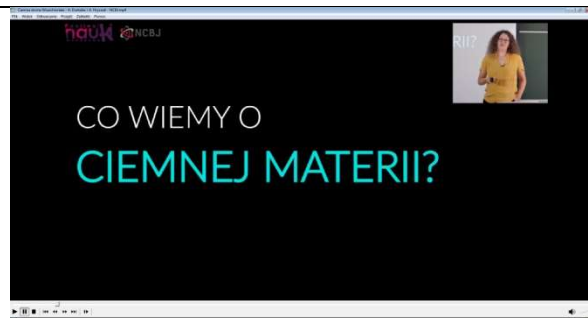
Kadr 02:22

„Gdy pójdziecie do astrofizyka z takim pytaniem, to astrofizyk zrobi tak. Niestety łatwiej jest powiedzieć, czym ciemna materia nie jest.



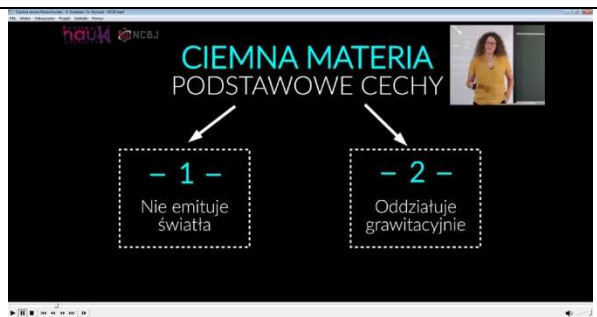
Kadr 02:30

„Wiemy, że ciemna materia to nie jest gaz i to nie jest pył w galaktyce. Wiemy, że ciemna materia nie jest też antymaterią ponieważ widzielibyśmy jak oddziałuje z materią i ciemna materia to też są czarne dziury.”



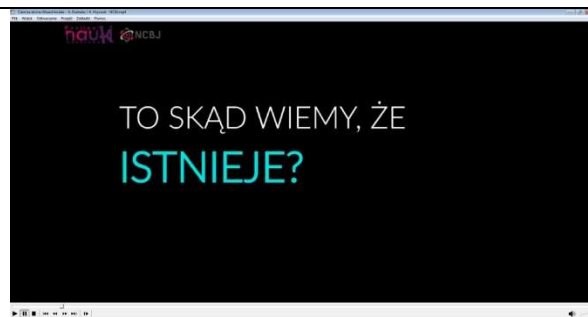
Kadr 02:49

No więc co wiemy o ciemnej materii, tak naprawdę. Wiemy dwie rzeczy:



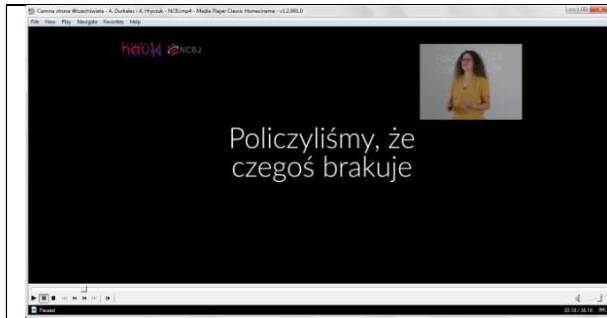
Kadr 02:50

“Po pierwsze, nie emituje światła w żadnej długości fali elektromagnetycznej. Po drugie, oddziałuje grawitacyjnie, czyli ma masę.”



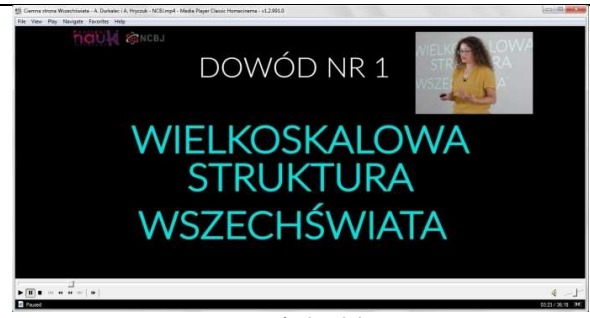
Kadr 03:06

“Skąd wiemy że istnieje. Teraz przedstawię Państwu trzy i pół dowodu na to, astrofizycznych dowodów na to, że ciemna materia istnieje i dlaczego sądzimy, że ciemna materia istnieje.”



Kadr 03:16

"Po pierwsze, policzyliśmy, że czegoś nam brakuje."



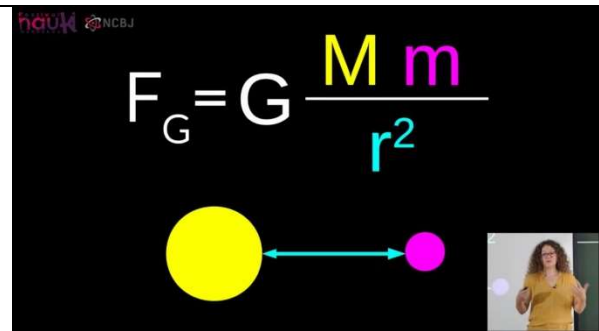
Kadr 05:04

"Dowód nr 1: wielkoskalowa struktura Wszechświata. Jesteśmy w stanie powiedzieć, jak wygląda. Stworzyliśmy symulacje, pokazujące, jak wygląda Wszechświat w największej, możliwej skali."



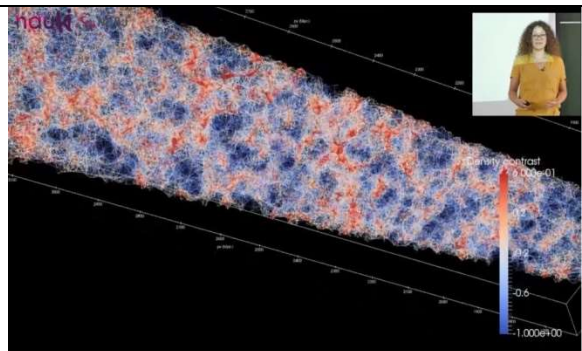
Kadr 04:57

"No więc, we Wszechświecie niepodzielnie rządzi grawitacja. No i jak wiemy ze szkoły, grawitacja zależy od masy."



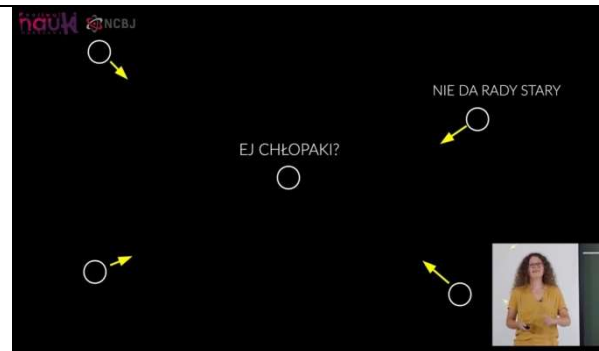
Kadr 05:08

"I obiecujemy, to ostatni wzór na tym wykładzie. Grawitacja jest wprost proporcjonalna do masy. Jeżeli uznamy, że te żółte kółko to jest jakaś większa masa, to mniejsze, różowe kółko to jest jakaś mniejsza masa to siła grawitacji oddziałująca pomiędzy tymi dwoma obiektami jest wprost proporcjonalna do tych dwóch mas i odwrotnie proporcjonalna do kwadratu ich odległości."



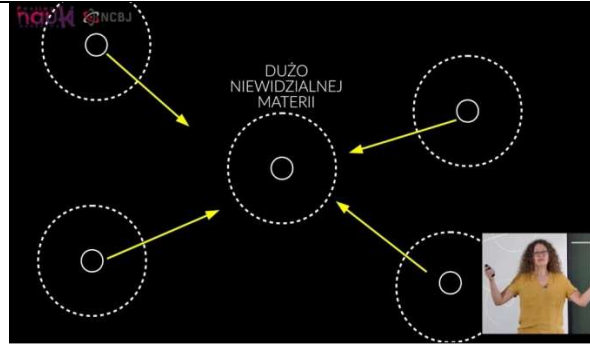
Kadr 05:33

"Czyli, aby powstały takie struktury we Wszechświecie potrzebna jest nam masa. Najpierw potrzebujemy masy, a potem będziemy robili rzeźbę Wszechświata."



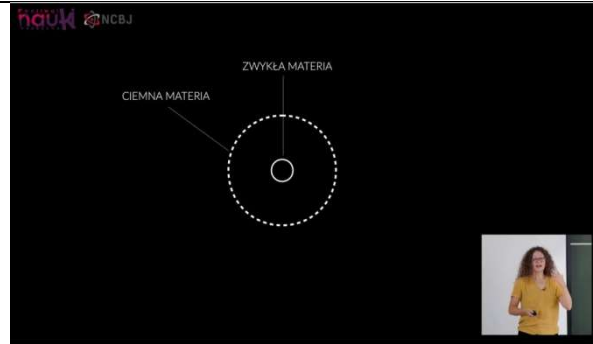
Kadr 05:44

"Ponieważ, jak się okazuje, jeżeli weźmiemy sobie zwykłą materię, taki zlepek zwykłej jasnej materii świecącej, która gdzieś tam istnieje we Wszechświecie i ona jest otoczona innymi zlepkami takiej jasnej materii. No okazało się, że tej materii jest tam zbyt mało, ma ona zbyt małą masę żeby utworzyły się struktury."



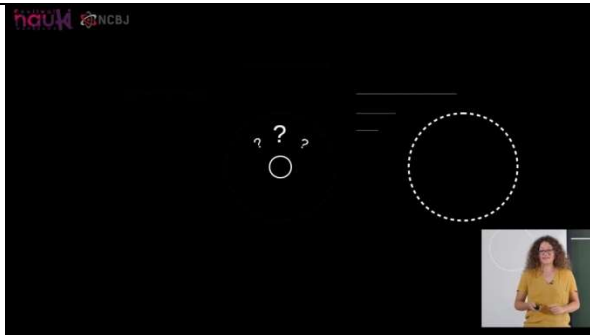
Kadr 06:08

"Ale co się stanie, jak do tej jasnej masy jasnej materii dodamy trochę ciemnej materii. Znaczący, może nawet nie trochę, dużo ciemnej niewidzialnej materii. No więc wtedy okazuje się, że i owszem mamy wystarczająco dużą masę, aby te struktury we Wszechświecie mogły powstać."



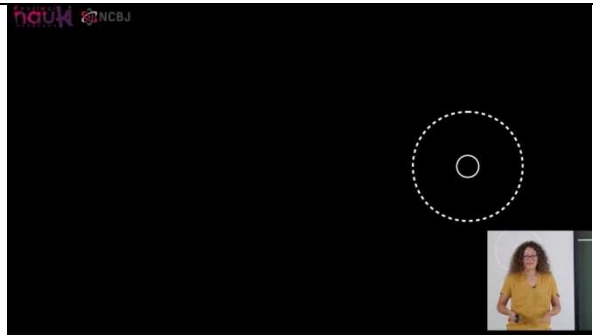
Kadr 06:31

**"Więc okazuje się, że każdy zlepek jasnej materii, czyli na przykład galaktyka, jest otoczona niewidzialną ciemną materią."**



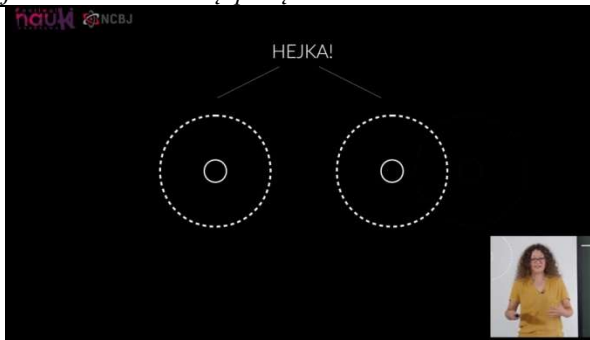
Kadr 06:42

"I żeby było zabawniej, to jasna materia podąża w ślad za materią ciemną. Czyli, jeżeli ciemna materia zaczyna się przesuwać pod wpływem siły grawitacji, to jasna materia za nią podąża."



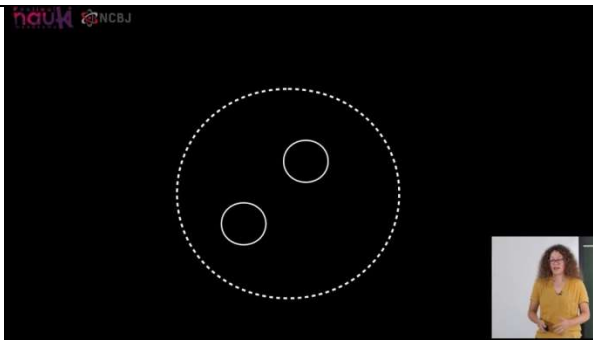
Kadr 06:54

**"Znajduje się cały czas w jej wnętrzu. Jest tak jakby zanurzona w ciemnej materii."**



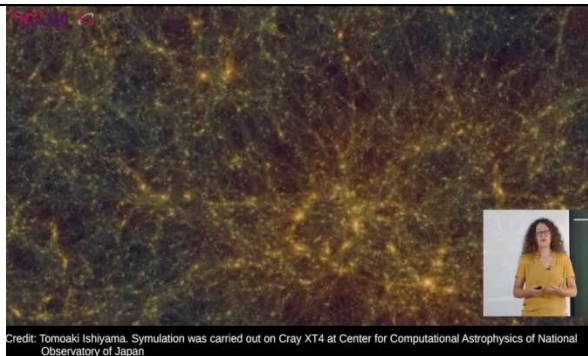
Kadr 07:01

"I jeżeli dwie takie struktury ciemnej i jasnej materii spotkają się razem,



Kadr 07:06

to po pewnym czasie zlewają się i tworzą jeszcze większą strukturę."



Credit: Tomoaki Ishiyama. Simulation was carried out on Cray XT4 at Center for Computational Astrophysics of National Observatory of Japan

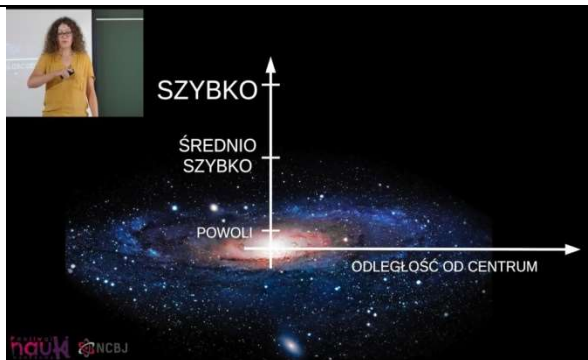
Kadr 07:11

"I jak to się wszystko działo jesteśmy w stanie to pokazać na symulacjach. To co zobaczycie na następnym slajdzie to jest przyspieszone tworzenie się struktur we Wszechświecie, wykonane na podstawie symulacji numerycznych. Idąc z jednorodnej struktury jesteśmy w stanie odtworzyć, jak tworzyły się struktury Wszechświata właśnie tylko i wyłącznie dlatego, że dodaliśmy ileś tam ciemnej materii. Gdyby ta ciemna materia nie istniała, to ta jasna struktura nie mogłaby powstać tak szybko i nie uformowałaby się do tej postaci w jakiej ją obserwujemy teraz."



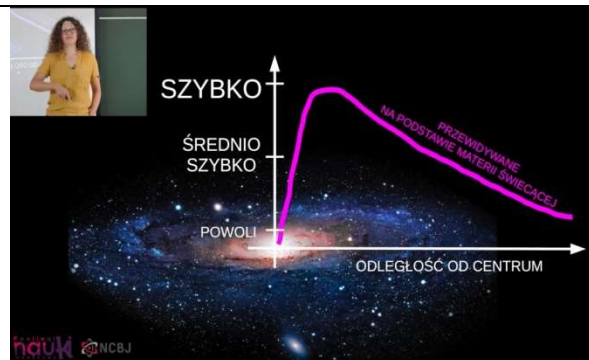
Kadr 07:53

"Dowód numer dwa. Nie tylko sobie coś policzyliśmy, oczywiście, mamy jeszcze więcej dowodów. Więc dowód numer dwa to prędkość obrotu galaktyk. Wyobraźmy sobie, że mamy galaktykę, a nawet nie musimy sobie wyobrażać, tylko po prostu jest tutaj na rysunku, a jest to galaktyka spiralna. Znajdują się w niej, jest ona bardzo podobna do naszej Galaktyki, galaktyki Drogi Mlecznej



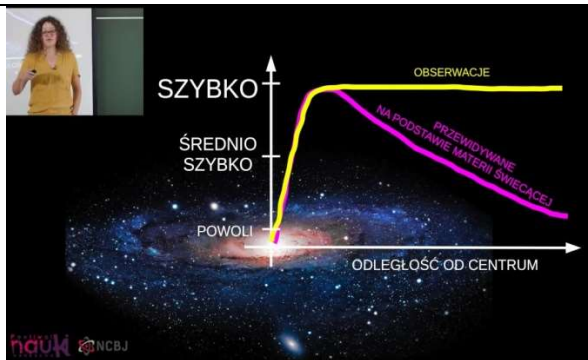
Kadr 08:15

"I teraz, na tej galaktyce narysujmy sobie układ współrzędnych. Zmierzymy, postawmy ten układ współrzędnych w środku i zmierzmy sobie, jak zmienia się prędkość obrotu gwiazd w zależności od odległości od centrum."



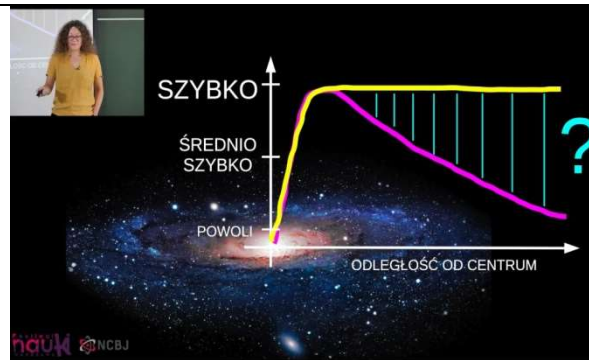
Kadr 08:31

"No i teraz, oczywiście mieliśmy jakieś przewidywania, teoretycznie, na temat tego, jak taka zależność powinna wyglądać. No więc, według naszych przewidywań teoretycznych ta prędkość powinna się zmniejszać. Wraz z odległością od centrum galaktyki, gwiazdy powinny się poruszać coraz wolniej okrążać centrum. Ich prędkość orbitalna powinna być coraz mniejsza. Tyle z przewidywań, z prawa Keplera."



Kadr 08:59

"Jednak zaobserwowaliśmy te galaktyki, zmierzaliśmy

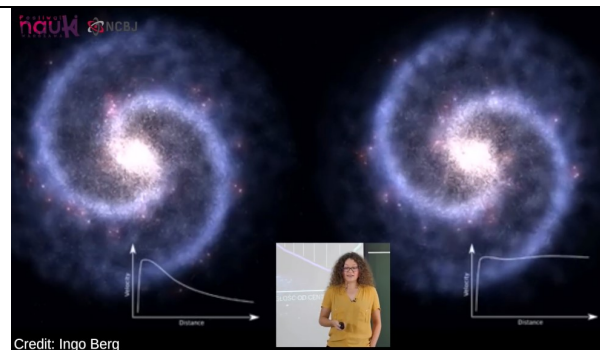


Kadr 09:20

"No więc co tutaj się stało? Dlaczego taka różnica?"



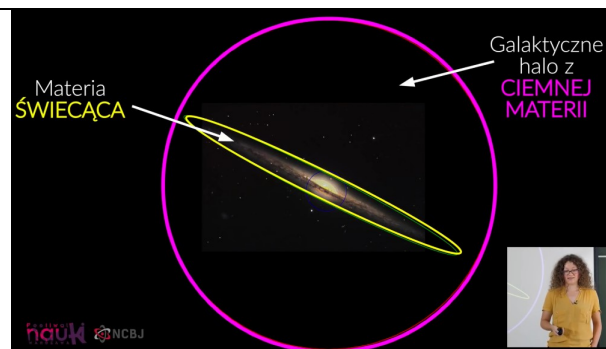
prędkości tych gwiazd no i okazało się, że prędkość tych gwiazd nijak nie chce się zmniejszać. Pozostaje ona taka sama mniej więcej w dysku i te gwiazdy poruszają się zbyt szybko



Credit: Ingo Berg

Kadr 09:24

*"Żeby to jeszcze lepiej zobrazować, na tej animacji przedstawione jest po lewej stronie, jak przewidujemy, że galaktyka powinna się obracać, a po prawej stronie jak naprawdę się obraca i jakie są duże prędkości tych gwiazd wewnątrz galaktyki".*



Kadr 09:40

*"Jedynym, jak do tej pory, sensownym wyjaśnieniem tego zjawiska jest założenie, że galaktyka zbudowana jest nie tylko z tego co widzimy, nie tylko z tego świecącego dysku, który potrafimy zaobserwować, któremu potrafimy zrobić zdjęcie, ale jest również otoczona czymś co nazywamy halo ciemnej materii, czyli zdecydowanie większą ilością ciemnej materii, która otacza dysk galaktyki. Uproszczonym schemacie w postaci takiej sfery wokół galaktyki."*

## [15] Ciemna materia i ciemna energia we Wszechświecie cz.2 (3)

### Ciemna materia i ciemna energia we Wszechświecie cz.2 (3)

[https://www.youtube.com/watch?v=O8t\\_NNpkIBU](https://www.youtube.com/watch?v=O8t_NNpkIBU)

11 paź 2013



[TVIATVN](#)

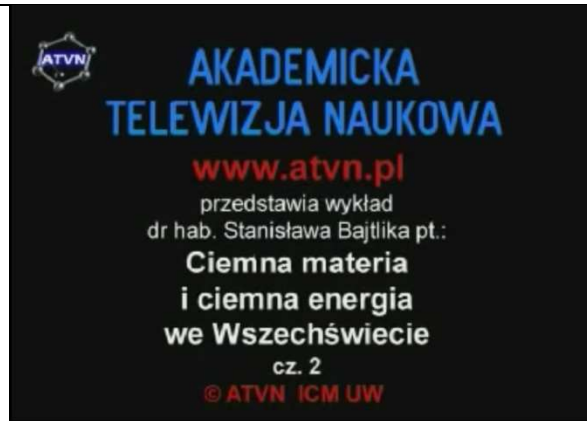
7,88 tys. subskrybentów

Część druga wykładu prof. Stanisława Bajtlika poświęconego odkrywaniu ciemnej materii i ciemnej energii we Wszechświecie. Wpływ grawitacyjny planet na gwiazdy. Badania centrum naszej galaktyki. Soczewkowanie grawitacyjne. Materia barionowa.

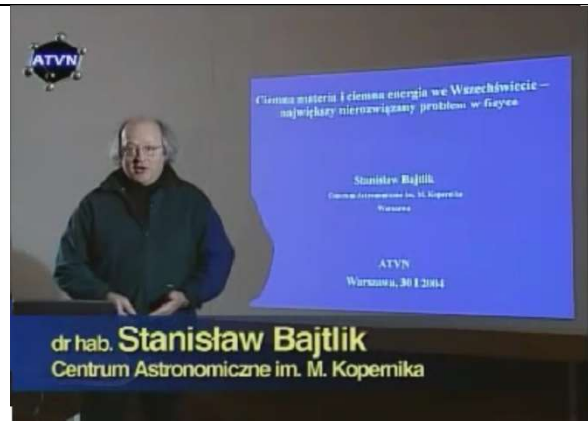
AKADEMICKA TELEWIZJA NAUKOWA YOUTUBE [@TVIATVN](#)

#### Licencja

[Licencja Creative Commons – uznanie autorstwa \(ponowne wykorzystanie dozwolone\)](#)



Kadr 00:15



Kadr 00:19

*"Odkrywanie ciemnej materii we Wszechświecie jest procesem starym. Od ponad stu lat ludzie odkrywają we Wszechświecie materię, którą nazywamy ciemną dlatego, że świeci na tyle słabo, że przy danym poziomie technologii, techniki rejestracji światła nie potrafimy jej wykryć. Potrafimy jednak zauważyć jej obecność poprzez wpływ jakie wywiera na ciała świecące."*



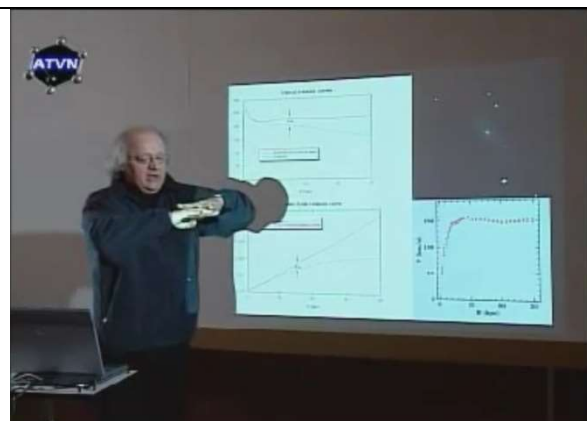
Kadr 00:43

*"Ta metoda dynamiczna jest na tyle skuteczna, że potrafimy, przy jej pomocy, wykrywać nawet bardzo małe masy."*



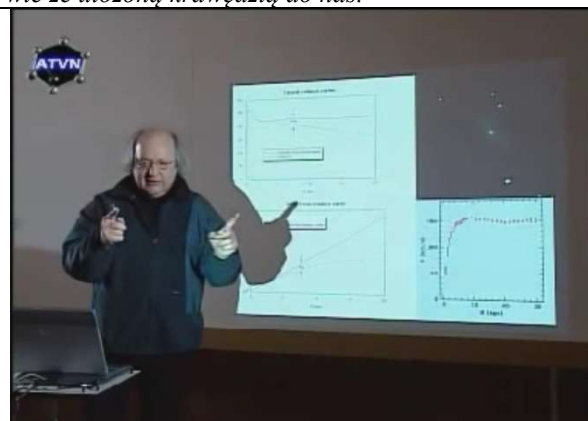
Kadr 08:46

*"Na dynamikę Wszechświata, na jego geometrię wpływ może mieć ciemna materia w znacznie większych ilościach. Powinniśmy więc poszukiwać tej ciemnej materii w większych skalach. I to jest robione od wielu lat. Na tym rysunku widzimy galaktykę spiralną, która jest ułożona w taki szczególny sposób, że widzimy ją, prawie że ułożoną krawędzią do nas."*



Kadr 09:13

*"Galaktyki spiralne to są konfiguracje, tak jak i Dro-*

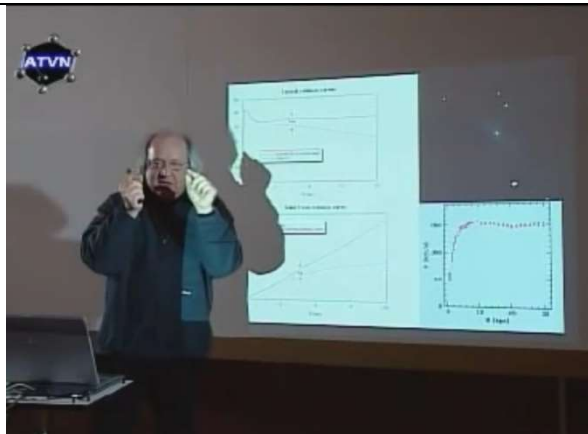


Kadr 09:23

*"Stosunek promienia tego dysku jest jak sto do jeden."*

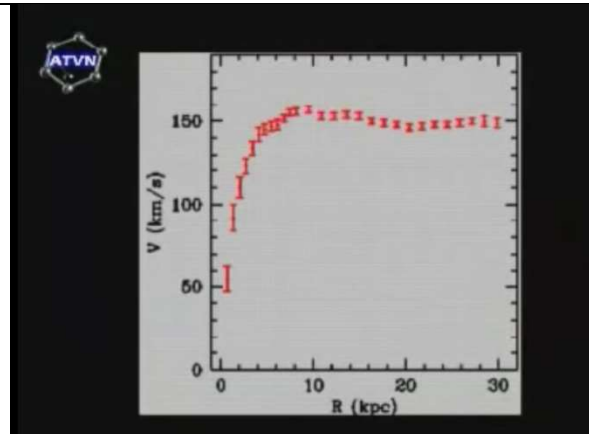
*ga Mleczna, setek miliardów gwiazd, których większość jest ułożona w płaszczyźnie cienkiego dysku."*

*Ten dysk jest naprawdę bardzo cienki. W środku galaktyki znajduje się takie zgrubienie centralne, w którym są gęsto upakowane gwiazdy, w samym centrum prawdopodobnie schowana jest czarna dziura. Ruch. Gwiazdy wirują wokół centrum galaktyki. Ruch tych gwiazd odbywa się pod wpływem pola grawitacyjnego wszystkich tych gwiazd, które znajdują się bliżej centrum niż dana gwiazda, którą obserwujemy."*



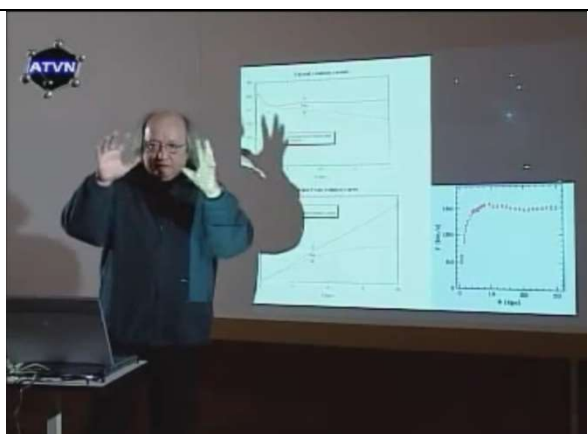
Kadr 09:53

*"Możemy więc, badając prędkość rotacji gwiazdy wokół centrum galaktyki, możemy określić, ile masy znajduje się pomiędzy orbitą tej gwiazdy, a centrum galaktyki. Takie obserwacje były prowadzone dla bardzo wielu galaktyk. Z przewidywań teorii newtonowskiej wynika, że gdyby cała masa w galaktyce była tak ułożona, jak materia świecąca, a więc gdyby cała masa tworzyła ten cienki dysk i to zgrubienie centralne, to prędkość ruchu orbitalnego gwiazdy wokół centrum galaktyki powinna maleć wraz z oddalaniem się od centrum galaktyki. Czyli im dalej położona jest gwiazda, którą obserwujemy, tym mniejszą prędkość rotacji powinna mieć."*



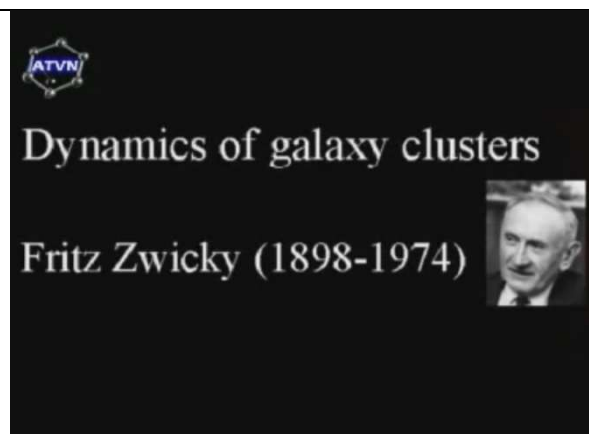
Kadr 10:46

*"Tymczasem to co się widzi dla większości galaktyk, to są takie płaskie krzywe rotacji. Kiedy oddalimy się już po za obszar tego zgrubienia centralnego, widzimy, że prędkość rotacji gwiazdy wokół centrum galaktyki praktycznie nie zależy od odległości od tego centrum. Na osi poziomej jest odległość od centrum galaktyki, na osi pionowej jest prędkość orbitalna gwiazdy czy obłoku gazu, który obserwujemy. Widzimy, że ta prędkość nie zależy."*



Kadr 11:19

*"Możemy wyjaśnić te obserwacje przyjmując, że masa galaktyki to nie tylko świecące w dysku gwiazdy, że cały ten dysk galaktyczny zanurzony jest w niemal sferycznym halo ciemnej, nieświecącej materii. Wiemy więc, że to halo musi być masywne, masa tego halo musi być kilkanaście razy większa niż masa*



Kadr 13:22

*„Podobne efekty, jak w galaktykach spiralnych, a więc ruchu, którego nie da się wytłumaczyć pod wpływem tej materii, która świeci, zaobserwowan w większych układach. Ekscentryczny szwajcarski astronom Fritz Zwicky, pracujący w Kalifornijskim Instytucie Technologicznym w Pasadenie już w latach*

*wszystkich gwiazd, gazu pyłów w dysku galaktyki i wiemy, że to halo musi być rozłożone inaczej, ono musi być sferyczne. A zatem to musi być coś innego niż zwykle gwiazdy. Czym jest to halo tego nie wiemy. Na ten temat wysuwane były różne hipotezy, o których dalej będę wspominał, ale do dziś nie jesteśmy pewni, Mamy natomiast powody by przypuszczać, że to nie mogą być nawet małowasywne i słabo świecące gwiazdy, że to nie może być gaz, zimny nieświecący gaz. Mamy dowody na to, o czym będzie mowa w dalszej części wykładu, że ta ciemna materia tworząca halo galaktyk jest czymś egzotycznym, czymś czego jeszcze nie znamy. To halo galaktyk spełnia też dodatkową rolę, dysk, takie konfiguracje, taki rozkład materii w postaci bardzo cienkich dysków jest niestabilny. Dwie galaktyki poruszające się w pobliżu siebie rozsypałyby ten słabo związany dysk. Ciemne halo otaczające galaktykę stabilizuje ten dysk, umacnia go. Stanowi takie dodatkowe więzy, które powodują, że ten dysk jest stabilny i że przejście galaktyk obok siebie nie zburzy tej konfiguracji gwiazd. To jest dodatkowy powód żebyśmy sądzili, że nasza interpretacja tych płaskich krzywych rotacji, jako świadczących o obecności dużej ilości ciemnej materii w galaktykach jest poprawna.”*

*czterdziestych zauważył, że w gromadach galaktyk, a więc układach znacznie większych, kilku, kilkudziesięciu, kilkuset, a nawet kilku tysięcy, czasami, galaktyk, pamiętajmy, że każda jest układem kilkuset miliardów gwiazd, ruch galaktyk traktowanych jak cząstki, odbywa się w sposób, który nie da się wyjaśnić polem grawitacyjnym pochodzącym od pozostałych członków gromady, od pozostałych galaktyk, Wysunął więc hipotezę, że całe gromady galaktyk, a więc skupiska, setek najczęściej, galaktyk otoczone są ciężkim halo nieświecącej materii.*

### 3. Próby rozwiązania płaskich krzywych rotacji galaktyk spiralnych.

1. Obiekty **MACHO** - (*MA*ssive *CO*mpact *HA*lo *O*bjects - *M*asywne *o*bięty *nie*świecące). Zakładano, że w galaktykach znajduje się dużo obiektów z materii barionowej nieświecących własnym światłem: brązowe karły, planety, gwiazdy neutronowe, obłoki gazu i pyłu i inne drobne ciała. Niestety takich obiektów znaleziono bardzo mało.
2. **NEUTRINA** - okazało się, że neutrino mają za małą masę.
3. **WIMP** - (*W*eakly *I*nteracting *M*assive *P*articles - *M*asywne *W*olno *P*oruszające się *C*ząstki *E*lementarne}. Do dnia dzisiejszego cząstek takich nie odkryto.
4. Teorie **MOND** (*M*odified *N*ewtonian *D*ynamics, *M*odyfikacja *D*ynamiki *N*ewtona) - będzie ona omówiona w następnej części.

### 4. Układy ciał niebieskich związanych grawitacyjnie.

#### 4.1. Prawa Keplera.

***Prawa Keplera dotyczą tylko i wyłącznie ruchu jednorodnych ciał sferycznych w zewnętrznym polu grawitacyjnym wytwarzanym przez centralne, jednorodne ciało sferyczne o masie dużo większej niż orbitujące ciała, co najmniej o dwa rzędy wielkości.***

- I prawo Keplera: *orbita każdej planety jest elipsą, przy czym Słońce leży w jednym z ognisk elipsy*
- II prawo Keplera: *promień wodzący planety zakreśla w równych odstępach czasu równe pola,*
- III prawo Keplera: *drugie potęgi okresów obiegu planet wokół gwiazdy są wprost proporcjonalne do trzecich potęg ich średnich odległości od gwiazdy*



$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{r_1^3}{r_2^3} = \text{const.} \quad (4.1.1)$$

gdzie:  $T_1, T_2$  - okres obiegu planety 1 i 2 wokół Słońca,  
 $r_1, r_2$  - wielkie osie orbity planety 1 i 2.

Prawa Keplera można stosować tylko i wyłącznie do obliczania ruchu jednorodnych ciał sferycznych w układach związanych grawitacyjnie typu  $D_J$  i  $J$ .

#### 4.2. Prawo powszechnego ciążenia Newtona.

Isaac Newton sformułował prawo powszechnego ciążenia na podstawie praw ruchu planet Układu Słonecznego, sformułowanych przez Johannes'a Keplera.

Isaac Newton jako pierwszy wykazał, że te same prawa rządzą ruchem ciał na Ziemi, jak i ruchem ciał niebieskich, zarówno na zewnątrz jak i wewnątrz jednorodnych ciał sferycznych. Jego prace doprowadziły do rewolucji naukowej i powszechnego przyjęcia teorii heliocentrycznej Mikołaja Kopernika. Podał matematyczne uzasadnienie dla praw Keplera i zdefiniował prawo powszechnego ciążenia, które brzmi:

***Dwa jednorodne ciała sferyczne (kule) lub ciała sferycznie jednorodne przyciągają się siłą wprost proporcjonalną do ich masy i odwrotnie proporcjonalną do kwadratu odległości między ich środkami geometrycznymi.  
 Odległość pomiędzy środkami kul musi być większa od sumy ich promieni.***

Siła grawitacyjna  $\vec{F}$  działająca pomiędzy dwoma jednorodnymi ciałami sferycznymi lub ciałami sferycznymi radialnie jednorodnymi wyraża się wzorem:

$$\vec{F} = \frac{G \cdot M_1 \cdot m_2}{r_{1,2}^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r} \text{ [N]}. \quad (4.2.1)$$

gdzie:

$\vec{F}$  - siła centralna działająca pomiędzy dwoma jednorodnymi ciałami sferycznymi,

$G$  - stała grawitacji,  $G = 6,67408(31) \cdot 10^{-11} \left[ \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2} \right]$ ,

(4.2.2)

$M_1$  - masa jednorodnego ciała 1 o promieniu  $R_1$ ,

$m_2$  - masa jednorodnego ciała 2 o promieniu  $R_2$ ,

$\vec{r}_{1,2}$  - wektor odległości o początku w środku 1-go ciała i końcu w środku 2-go,

$r_{1,2}$  - wartość bezwzględna odległości pomiędzy środkami ciał sferycznych.

#### **UWAGA!!!**

***Powyższy wzór obowiązuje tylko i wyłącznie jeżeli oba ciała są jednorodnymi ciałami sferycznymi (kulami) lub ciałami sferycznie jednorodnymi i dla  $r$  większego od sumy promieni kul  $R_1 + R_2$ .***

***Jeżeli:***

- 1. co najmniej jedno ciało jest niejednorodnym ciałem sferycznym,***
- 2. co najmniej jedno ciało jest ciałem niesferycznym, nawet wtedy gdy jest ciałem jednorodnym,***

**TO WZÓR TEN JEST NIEPRAWDZIWY.**

W dalszej części, pod pojęciem:

- jednorodnie ciało sferyczne będziemy rozumieli kulę o stałej gęstości w całej objętości,
- ciało sferycznie jednorodne tj. takie, którego gęstość w całej sferze o promieniu  $r$  i grubości  $\Delta r$  jest stała.

Jeżeli rozpatrujemy siłę na zewnątrz ciała sferycznie jednorodnego to możemy je zastąpić równoważnym jednorodnym ciałem sferycznym.

Siły grawitacyjne są siłami centralnymi, przyciągającymi i długi zasięgowymi.

Jednorodnie ciało sferyczne o masie  $M$  wytwarza sferyczne pole grawitacyjne, które nadaje każdemu jednorodnemu i sferycznemu ciału  $m$ , przyspieszenie grawitacyjne równe

$$\vec{\gamma} = -\frac{G \cdot M}{r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r} \left[ \frac{m}{s^2} \right]; r > R_0, R_0 - \text{promień kuli} \quad (4.2.3)$$

i skierowane do środka ciała  $M_0$ . Wielkość (4.2.3) nazywana jest natężeniem pola grawitacyjnego.

Wektor siły  $\vec{F}$  i natężenia  $\vec{\gamma}$  możemy rozłożyć na składowe we współrzędnych prostokątnych, co znacznie ułatwia operacje matematyczne na wektorach, i zapisujemy:

$$\vec{F} = (F_x, F_y, F_z). \quad (4.2.4)$$

$$\vec{\gamma} = (\gamma_x, \gamma_y, \gamma_z). \quad (4.2.5)$$

Siła grawitacyjna  $\vec{F}$  i natężenie pola grawitacyjnego  $\vec{\gamma}$  są wielkościami addytywnymi, tzn. w układzie  $n$  ciał związanych grawitacyjnie, wypadkowa wartość siły i wypadkowa wartość natężenia pola grawitacyjnego działającego na ciało  $m_i$  jest równe sumie geometrycznej sił pochodzących od wszystkich pozostałych ciał układu i odpowiednio sumie geometrycznej natężeń pól grawitacyjnych pochodzących od pozostałych ciał.

$$\vec{F}_i = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^n \frac{G \cdot m_i \cdot m_k}{r_{i,k}^2} \cdot \frac{\vec{r}_{i,k}}{r_{i,k}} [N]. \quad (4.2.6)$$

$$\vec{\gamma}_i = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^n \frac{G \cdot m_k}{r_{i,k}^2} \cdot \frac{\vec{r}_{i,k}}{r_{i,k}} \left[ \frac{m}{s^2} \right]. \quad (4.2.7)$$

W niniejszej publikacji przyjęto, że składnikami układów ciał niebieskich związanych grawitacyjnie są jednorodnie ciała sferyczne, układ jest układem izolowanym, rotuje w płaszczyźnie  $xOy$  wokół osi  $z$  i jako całość jest w spoczynku. Przez odległość między ciałami układu rozumiemy odległość między środkami geometrycznymi ciał sferycznych.

Dynamiką i kinematyką układów ciał niebieskich związanych grawitacyjnie zajmuje się dział astrofizyki - mechanika nieba. W niniejszym artykule podajemy zagadnienie ruchu ciał niebieskich w układach związanych grawitacyjnie tylko w zakresie niezbędnym do wyjaśnienia problemu *ciemnej materii*.

Przyjęto również, że ciało centralne, lub w przypadku braku ciała centralnego (galaktyki pierścieniowe), wspólny środek mas ciał niebieskich związanych grawitacyjnie, znajduje się w centrum układu współrzędnych tj. w punkcie  $(0,0,0)$ , w dalszej części artykułu nazywane go również środkiem układu.

Dla ciał niebieskich tworzących układ rotujący wprowadzamy pojęcie *liniowej prędkości orbitalnej*, dla orbit niekołowych lub *liniowej orbitalnej prędkości kołowej* dla orbit kołowych. Każde ciało układu poruszające się po orbicie kołowej, w płaszczyźnie prostopadłej do osi obrotu, z liniową orbitalną prędkością kołową doznaje *przyspieszenia odśrodkowego*, które równoważy wypadkowe natężenie pola grawitacyjnego działającego na to ciało od pozostałych ciał układu.

$$|\vec{v}_{lok}| = \sqrt{\frac{G \cdot m}{r}} = \sqrt{|\vec{\gamma}| \cdot r}. \quad (4.2.8)$$

gdzie

$\vec{v}_{lok}$  - liniowa orbitalna prędkość kołowa. Wektor  $\vec{v}_{lok}$  jest prostopadły do promienia wodzącego  $\vec{r}$  i leży w płaszczyźnie rotacji,  
 $r$  - promień orbity.

Kierunek rotacji można przyjąć dowolnie. W niniejszej publikacji przyjęto kierunek rotacji prawoskrętny, tj. przeciwnie do ruchu wskazówek zegara.

Wartość prędkości kątowej planety obiegającej gwiazdę po orbicie kołowej o promieniu  $r$  otrzymamy ze wzoru (4.2.8)

$$|\vec{\omega}| = \frac{|\vec{v}_{lok}|}{r}, \quad (4.2.9)$$

$$\vec{v}_{lok} = \vec{\omega} \times \vec{r}, \quad (4.2.10)$$

Kierunek rotacji wybieramy tak, żeby wektory  $\vec{v}_{lok}$ ,  $\vec{\omega}$  i  $\vec{r}$  tworzyły układ prawoskrętny.

Wektor prędkości kątowej  $\vec{\omega}$  jest prostopadły do płaszczyzny rozpiętej na wektorach  $\vec{r}$  i  $\vec{v}_{lok}$  tzn. do płaszczyzny  $xOy$ , leży na osi  $Oz$  i ma zwrot osi  $Oz$ .

Newton udowodnił, że natężenie pola grawitacyjnego wewnątrz jednorodnego ciała sferycznego, o promieniu  $R_0$ , w odległości  $r_0$  od środka zależy tylko od masy zawartej wewnątrz promienia  $r_0$ , a masa kuli na zewnątrz tego promienia nie wpływa na wartość natężenia.

Wobec tego natężenie pola grawitacyjnego wewnątrz kuli o promieniu  $r_0$  jest równe:

$$\vec{\gamma}_{r_0} = -\frac{G \cdot m_0}{r_0^2} \cdot \frac{\vec{r}_0}{r_0} \left[ \frac{m}{s^2} \right], \quad (4.2.11)$$

gdzie:

$m_0$  - masa ciała wewnątrz kuli o promieniu  $r_0$ .

Znając promień i gęstość jednorodnego ciała sferycznego (kuli) możemy obliczyć jego masę ze wzoru:

$$m_0 = \frac{4}{3} \cdot \rho \cdot \pi \cdot r_0^3 \quad [\text{kg}], \quad (4.2.12)$$

podstawiając (4.2.12) do (4.2.11) otrzymujemy:

$$\vec{\gamma}_{r_0} = -\frac{G \cdot \frac{4}{3} \rho \cdot \pi \cdot r_0^3}{r_0^2} \cdot \frac{\vec{r}_0}{r_0} \left[ \frac{m}{s^2} \right], \quad (4.2.13)$$

Przyjmując:

$$r_0 \equiv r \quad [m]. \quad (4.2.14)$$

otrzymamy:

$$\vec{\gamma}_r = -\frac{4}{3} \cdot G \cdot \rho \cdot \pi \cdot r \cdot \frac{\vec{r}_0}{r_0} \left[ \frac{m}{s^2} \right]. \quad (4.2.15)$$

Jest to zależność natężenia pola grawitacyjnego wewnątrz jednorodnego ciała sferycznego w funkcji odległości od środka. Ze wzoru widzimy, że natężenie pola grawitacyjnego zależy od gęstości kuli i jest rosnącą liniową funkcją odległości od środka. Jest to natężenie wypadkowe. Natężenie pola grawitacyjnego w środku kuli jest równe 0. Nachylenie prostej do płaszczyzny równikowej jest proporcjonalne do gęstości i wynosi:

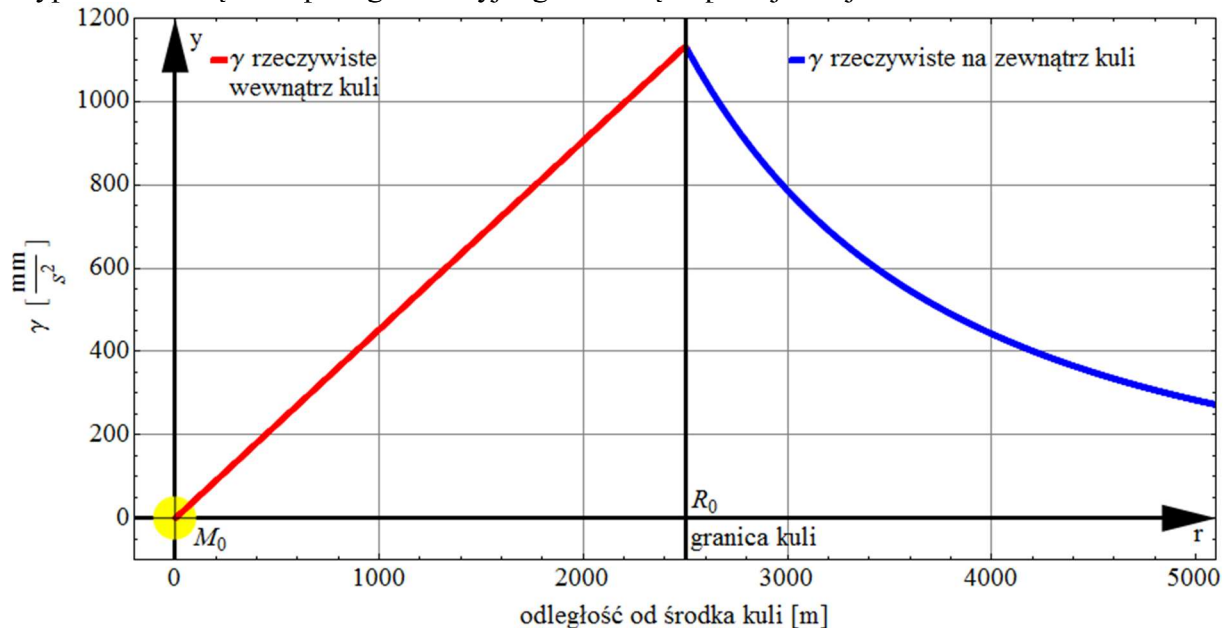
$$\alpha = \tan^{-1} \left( -\frac{4}{3} \cdot G \cdot \rho \cdot \pi \right). \quad (4.2.16)$$

Na Rys. 4.2.1. przedstawiono graficznie zależność bezwzględnej wartości natężenia pola grawitacyjnego w funkcji odległości od środka kuli obliczone analitycznie;

1. wewnątrz kuli wg wzoru (4.2.15),
2. na zewnątrz kuli wg wzoru (4.2.3).

Należy pamiętać, że wektor natężenia pola grawitacyjnego jest skierowany do środka kuli, a kula jest wykonana z materii ciągłej (w przestrzeni matematycznej).

Newton udowodnił także, że jednorodne ciało sferyczne można zastąpić punktem umieszczonym w środku kuli nadając mu masę całej kuli. Jest to tzw. **punkt materialny**, a także wykazał, że to samo prawo obowiązuje dla zewnętrznej części sfery, tzn. natężenie pola grawitacyjnego wytwarzanego przez sferę jest proporcjonalne do całkowitej masy sfery i odwrotnie proporcjonalne do kwadratu odległości od środka sfery, oczywiście odległość musi być większa od promienia zewnętrznej sfery. W każdym punkcie wewnątrz pustej sfery wypadkowe natężenie pola grawitacyjnego wytwarzanego przez sferę jest równe 0, mówiąc potocznie, wypadkowe natężenie pola grawitacyjnego wewnątrz pustej kuli jest równe 0.



Rys. 4.2.1. Natężenie pola grawitacyjnego jednorodnego ciała sferycznego (kuli), obliczone analitycznie ze wzoru (4.2.15) wewnątrz kuli i ze wzoru (4.2.3) na zewnątrz kuli.

W czasach Newtona, aż do początku XIX wieku uważano, że materia jest ciągła, a Wszechświat jest stacjonarny. Nie wiedzano, że istnieją wielkie skupiska gwiazd zwane galaktykami. Dlatego też Newton wyprowadził wzór dla jednorodnych i sferycznych ciał stałych.

Obecnie wiemy, że istnieją galaktyki kuliste, w nomenklaturze Hubble'a oznaczone jako E0. Możemy zadać pytanie: **Czy można stosować prawo Newtona do obliczania dynamiki sferycznych układów ciał niebieskich złożonych ze sferycznych jednorodnych ciał wewnątrz układu?** Czy wzór (4.2.15) możemy zastosować do obliczenia natężenia pola grawitacyjnego wewnątrz jednorodnej galaktyki kulistej, jakie działa na gwiazdę odległą o  $r_0$  od centrum galaktyki?

Stosując wzór (4.2.15) do obliczania dynamiki wewnątrz galaktyk musimy pamiętać, że gwiazdy są oddzielone od siebie wielkimi, na ogół, pustymi przestrzeniami i należy je traktować jak elementy dyskretne. Każde ciało układu traktujemy jak punkt materialny;

Na Rys.4.2.2. przedstawiono wykres natężenia pola grawitacyjnego  $\gamma$ , jednorodnego sferycznego układu, złożonego z jednorodnych sferycznych ciał niebieskich związanych grawitacyjnie w chwili początkowej  $t_0$ , o promieniu 110 i liczbie ciał  $N=7,9$  mln, czyli mówiąc prościej potocznym językiem astronomów, jednorodnej galaktyki kulistej.

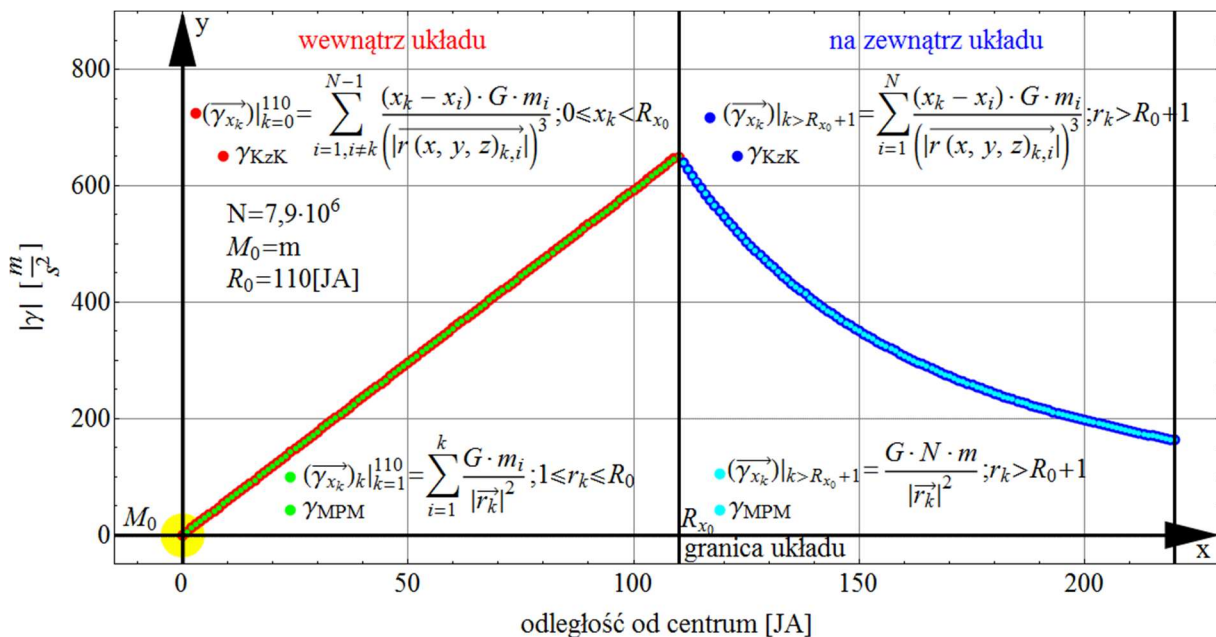
Krzywą  $\gamma$  obliczono dwoma metodami:



1. numerycznie: metodą każde z każdym, **KzK** –  $\gamma_{KzK}$ ,
2. analitycznie: metodą punktu materialnego, **MPM** –  $\gamma_{MPM}$ .

Na dodatniej półosi  $0x$  układamy w stałych odstępach  $\Delta x=1[JA]$ , 111 jednorodnych kul. Jedna kula  $M_0 = m_i$ , żółta, w centrum tj. w pkt.  $(0,0,0)$  i 110 kul  $m_i = 1$ , czerwonych, ostatnia w pkt.  $(110,0,0)$ .

1. Wewnątrz układu obliczamy:
  - a. numerycznie metodą **KzK** obliczamy wypadkową, składową  $x$ ,  $\gamma_{KzK}$  dla kuli  $M_0$  od wszystkich pozostałych kul układu tj. od  $N-1$  kul. Układ jest symetryczny to wypadkowe  $\gamma_{KzK} = 0$ . Następnie obliczamy kolejno dla następnych 110 kul  $m_i$  położonych na osi  $0x$ . Na Rys.4.2.2. kolorem czerwonym wykreślono, krzywą  $\gamma_{KzK}$  obliczoną numerycznie,
  - b. analitycznie metodą **MPM** wypadkowe  $\gamma_{MPM}$ . Dla każdego  $r_i = x_i$  obliczamy liczbę kul znajdujących się w kole o promieniu  $r_i$ , łącznie z kulami leżącymi na okręgu  $r_i$  i odejmujemy jedną kulę o środku w punkcie  $(x_i, 0, 0)$ . Otrzymaną sumaryczną masę, równą sumie kul, umieszczamy, jako punkt materialny, w centrum układu, tj. w pkt.  $(0,0,0)$  i ze wzoru (4.2.3) obliczamy  $\gamma_{MPM}$ . Tak otrzymane wartości naniesione są kolorem zielonym, na wykres pokazany na Rys.4.2.2. Jak widzimy wartości natężenia pola grawitacyjnego obliczone obiema metodami są identyczne. Stąd możemy wyciągnąć wniosek, że obliczenia układów ciał związanych grawitacyjnie metodą **KzK** i **MPM** dają identyczne i rzeczywiste wartości.



Rys.4.2.2. Natężenie pola grawitacyjnego jednorodnego układu sferycznego, **obliczone numerycznie** ze wzoru (4.2.7) i **analitycznie** ze wzoru (4.2.7) wewnątrz układu, a na zewnątrz układu **obliczone numerycznie i analitycznie** ze wzoru (4).

2. Na zewnątrz układu obliczamy:
  - a. numerycznie metodą **KzK**. Postępujemy podobnie jak w pkt. 1.a. ale dla każdego  $r > 110$ ;  $r \in \mathbb{N}$  obliczamy wypadkowe  $\gamma_{KzK}$  od wszystkich ciał układu, tj. o 1 ciało więcej niż dla wnętrza układu. Obliczone wartości naniesiono, kolorem ciemnoniebieskim na wykres na Rys.4.2.2.

- b. analitycznie metodą **MPM**. Postępujemy jak w pkt. 1.b., ale sumujemy masę wszystkich ciał układu i tak obliczoną wartość masy układu umieszczamy w centrum układu i dla każdego  $r > R_0$ ;  $r \in \mathcal{N}$ , obliczamy  $\gamma_{MPM}$  ze wzoru (4.2.4). Obliczone wartości naniesiono, kolorem błękitnym, na wykres z Rys.4.2.2.. Jak widzimy wartości natężenia pola grawitacyjnego obliczone obiema metodami są identyczne.

Przy obliczaniu natężenia pola grawitacyjnego należy pamiętać, że siła grawitacji jest siłą centralną i działa do środka jednorodnego ciała sferycznego.

Przy obliczaniu dynamiki modeli układów ciał związanych grawitacyjnie przyjęto:

- stałą grawitacji  $G=1$ ,
- masę jednorodnych ciał sferycznych układu  $m_i=1$ ,
- masę ciała centralnego  $M_0$  w masach  $m_i$ ,
- odległość pomiędzy kolejnymi ciałami układu  $\Delta r_{i,i+1}=1$ ,
- współrzędne środków kul w długościach  $\Delta r_i$ .

Przechodząc do rzeczywistych wielkości należy pamiętać, że w układzie SI

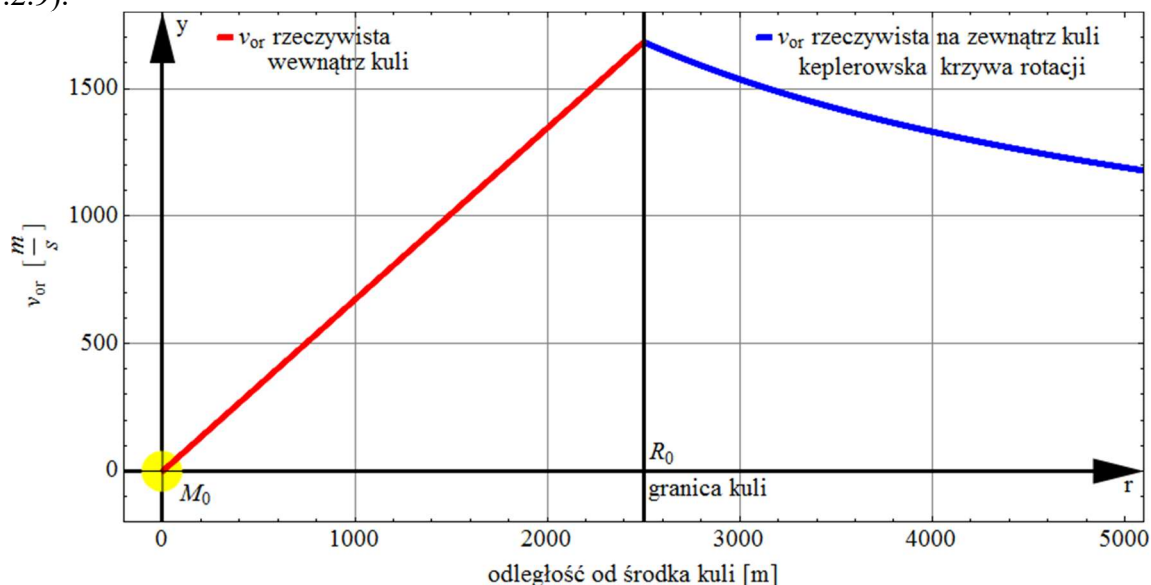
- stała grawitacji  $G = 6,67408 \cdot 10^{-11} [\frac{N \cdot m^2}{kg^2}]$ ,
- masa  $m[kg]$
- odległość  $r[m]$ .

Żeby przejść do rzeczywistych układów należy wszystkie wyniki obliczone dla modelu pomnożyć przez współczynnik skali, a ten zależy od:

1. stałej grawitacji  $G$
2. jednostki masy – kg,  $M_\odot$  - masa Słońca
3. jednostki długości – km, j.a. – jednostka astronomiczna, l.s. – lata świetlne, ps. – parseki.

Dla jednostek stosowanych w astronomii odległość na wykresach jest oznaczana [ $JA$ ] - jednostka astronomiczna – może to być j.a., lata świetlne, parseki, a masa w masach Słońca, dla zaznaczenia że jest to obiekt astronomiczny, a wielkości obliczane w funkcji odległości naniesione na współrzędną  $y$  oznaczono symbolicznie wielkością układu SI, np. prędkość orbitalną  $m/s$ , lub  $km/s$ , dla natężenia pola grawitacyjnego  $m/s^2$ , prędkość kątową  $rd/s$ .

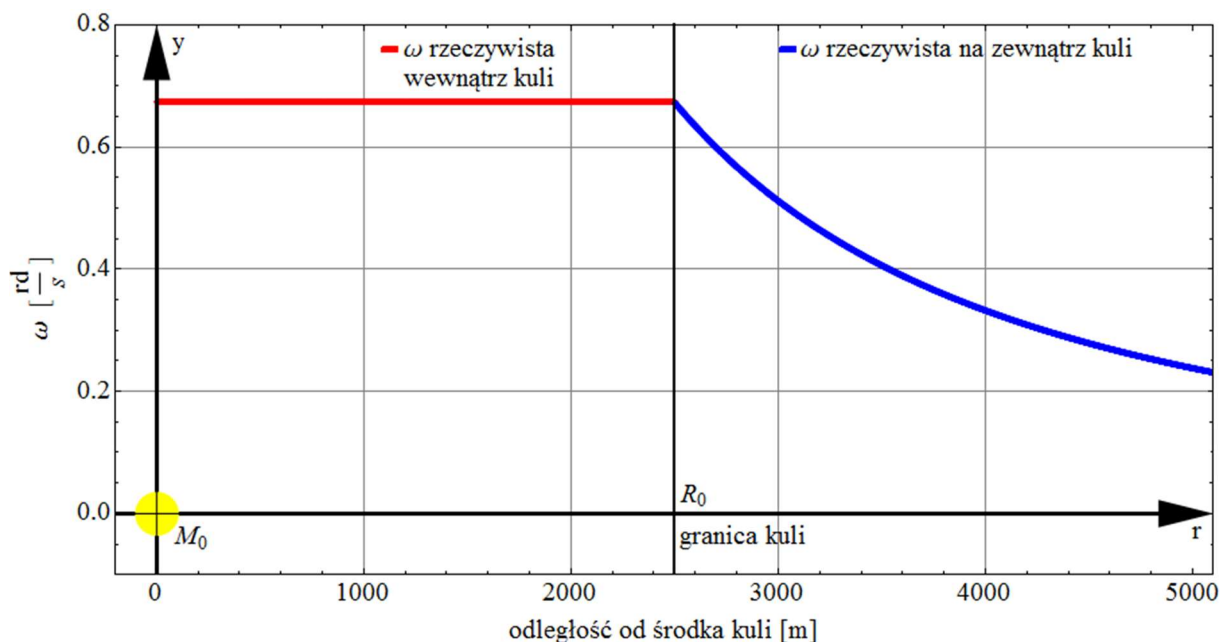
Znając natężenie pola grawitacyjnego możemy obliczyć liniową orbitalną prędkość kołową danej gwiazdy, w płaszczyźnie równikowej, ze wzoru (4.2.8) i prędkość kątową ze wzoru (4.2.9).



Rys 4.2.3. Liniowa orbitalna prędkość kołowa pochodząca od jednorodnego ciała sferycznego (kuli), obliczona analitycznie, wewnątrz kuli podano wartość teoretyczną.

Jak widać z Rys. 4.2.3. krzywa rotacji wewnątrz galaktyki kulistej nie jest krzywą keplerowską i nie jest też płaską, jak dla galaktyk spiralnych, ale jest odcinkiem linii prostej i jest rosnąca osiągając maksymalną wartość na krańcu galaktyki. Krzywa rotacji na zewnątrz galaktyki kulistej jest krzywą keplerowską

Na rysunku Rys. 4.2.4. wykreślono zależność prędkości kątowej w funkcji odległości od centrum, dla gwiazd w płaszczyźnie równikowej, dla jednorodnej galaktyki kulistej. Z wykresu widać, że jednorodna galaktyka kulista rotuje jak ciało sztywne



Rys 4.2.4. Prędkość kątowa pochodząca od jednorodnego ciała sferycznego (kuli), obliczona analitycznie.

### 4.3. Kołowe układy jednorodnych ciał sferycznych związanych grawitacyjnie.

Czy podobnie, jak dla jednorodnej kuli możemy postąpić dla jednorodnego koła, tzn. że natężenie pola grawitacyjnego wewnątrz jednorodnego ciała kołowego, o promieniu  $R_0$ , w odległości  $r_0$  od środka zależy tylko od masy zawartej wewnątrz promienia  $r_0$ , a masa koła na zewnątrz tego promienia nie wpływa na wartość natężenia?

Przypomnijmy, że natężenie pola grawitacyjnego wewnątrz kuli o promieniu  $r_0$  jest równe:

$$\vec{\gamma}_{r_0} = -\frac{G \cdot m_0}{r_0^2} \cdot \frac{\vec{r}_0}{r_0} \left[ \frac{m}{s^2} \right], \quad (4.2.11)$$

Znając promień i gęstość jednorodnego ciała kołowego możemy obliczyć jego masę ze wzoru:

$$m = \rho \cdot \pi \cdot r_0^2 \text{ [kg]} \quad (4.3.1)$$

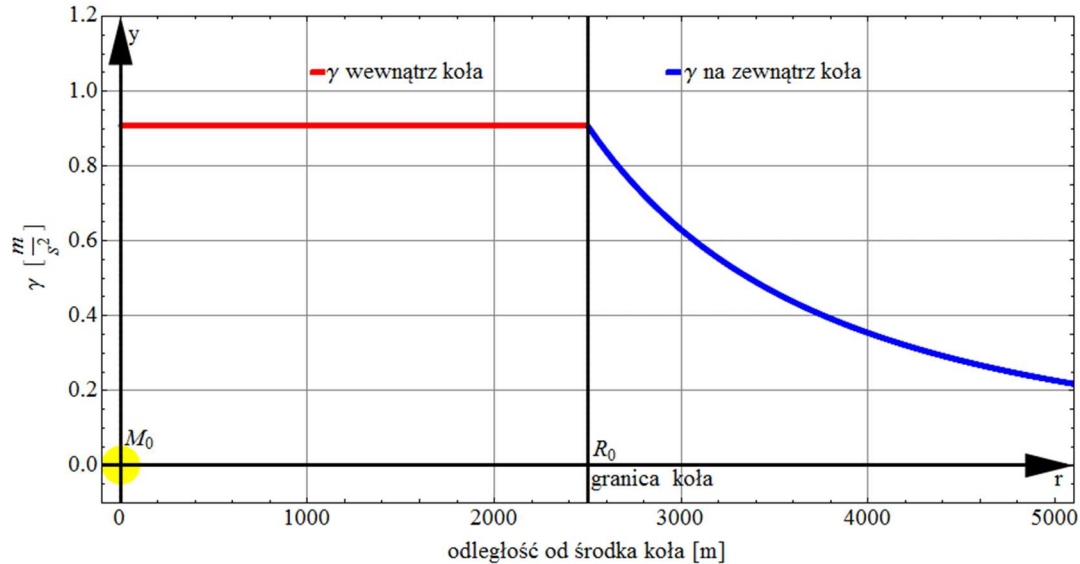
Podstawiając (4.3.1) do (4.2.11) otrzymujemy:

$$\vec{\gamma}_{r_0} = -\frac{G \cdot \pi \cdot r_0^2}{r_0^2} \cdot \frac{\vec{r}_0}{r_0} \left[ \frac{m}{s^2} \right], \quad (4.3.2)$$

Przyjmując:  $r_0 \equiv r \text{ [m]}$ . (4.3.3)  
otrzymamy:

$$\vec{\gamma}_r = -G \cdot \rho \cdot \pi \cdot \frac{\vec{r}_0}{r_0} \left[ \frac{m}{s^2} \right]. \quad (4.3.4)$$

Jest to zależność natężenia pola grawitacyjnego wewnątrz jednorodnego ciała kołowego w funkcji odległości od środka. Ze wzoru widzimy, że natężenie pola grawitacyjnego powinno zależeć tylko od gęstości koła i być stałe dla każdego  $r$ . Wypadkowe natężenie pola grawitacyjnego w środku koła jest równe  $0$ .



Rys. 4.3.1. Natężenie pola grawitacyjnego jednorodnego koła obliczone analitycznie ze wzoru (4.3.4)

Podobnie jak dla kuli obliczamy, teoretyczną, liniową prędkość orbitalną i prędkość kątową.

$$|\vec{v}_{lok}| = \sqrt{\frac{G \cdot m}{r}} = \sqrt{|\vec{\gamma}| \cdot r}. \quad (4.2.8)$$

Podstawiając do wzoru (4.2.8)  $\vec{\gamma}_r$  ze wzoru (4.3.4) otrzymamy

$$\vec{\gamma}_r = -G \cdot \rho \cdot \pi \cdot \frac{\vec{r}_0}{r_0} \left[ \frac{m}{s^2} \right]. \quad (4.3.4)$$

$$|\vec{v}_{lok}| = \sqrt{\frac{G \cdot m}{r}} = \sqrt{G \cdot \rho \cdot \pi \cdot r} \quad (4.3.5)$$

gdzie

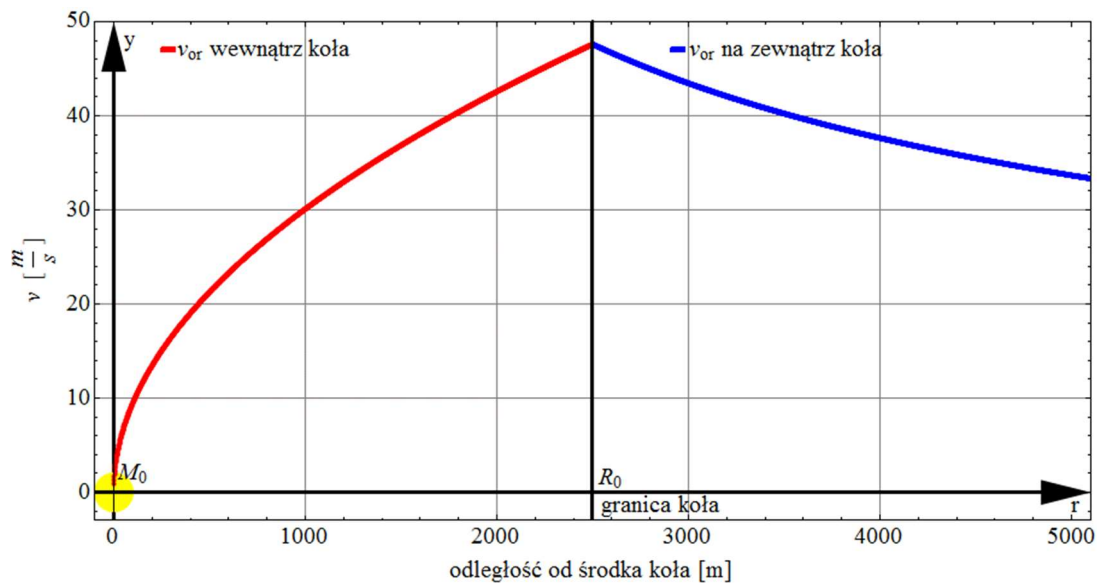
$\vec{v}_{lok}$  - liniowa orbitalna prędkość kołowa. Wektor  $\vec{v}_{lok}$  jest prostopadły do promienia wodzącego  $\vec{r}$  i leży w płaszczyźnie rotacji,  
 $r$  - promień orbity.

Kierunek rotacji można przyjąć dowolnie. W niniejszej publikacji przyjęto kierunek rotacji prawoskrętny, tj. przeciwnie do ruchu wskazówek zegara.

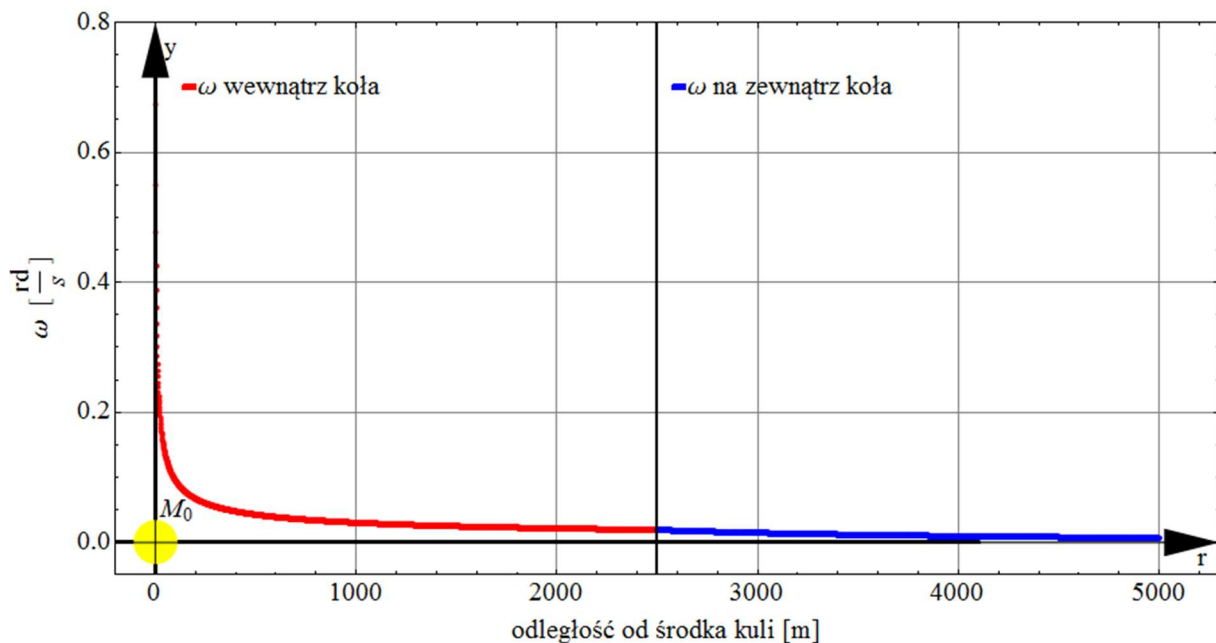
Wartość prędkości kątowej planety obiegającej gwiazdę po orbicie kołowej o promieniu  $r$  otrzymamy ze wzoru (4.2.8)

$$|\vec{\omega}| = \frac{\sqrt{G \cdot \rho \cdot \pi \cdot r}}{r}, \quad (4.3.6)$$





Rys. 4.3.2. Teoretyczna liniowa orbitalna prędkość kołowa dla jednorodnego koła o promieniu  $R_0 = 2500$  i masie 3,6 mln. obliczone analitycznie ze wzoru (4.2.8)



Rys. 4.3.3. Prędkość kątowna jednorodnego koła o promieniu  $R_0 = 2500$  i masie 3,6 mln. Obliczona analitycznie ze wzoru (4.2.9)

Podobnie, jak zrobiliśmy to dla kuli postąpimy i z kołem. Wykonamy model układu kołowego o promieniu  $R_0 = 2500$  i grubości równej średnicy kul tj. 1. W kole o takim promieniu można upakować  $N = 22,7$  mln jednorodnych gęsto upakowanych kul, tak żeby środek żadnej kuli na obrzeżu układu nie przekroczył jego granicy, jak pokazano to poglądowo na Rys. 4.3.4., gdzie w kole o promieniu 20[JA] gęsto upakowano 327 kul. Kule stykają się ze sobą. Każda kula ma 6 sąsiadów. Dokładnie opisano to w książce „Układy ciał niebieskich związanych grawitacyjnie” [4].

**Krzywą natężenia pola grawitacyjnego**  $\vec{\gamma}_{r_0}$  układu obliczymy metodą *KzK* i *MPM* dla wszystkich ciał na osi  $Ox$ , którą będziemy nazywali **krzywą natężenia**  $\vec{\gamma}_{r_0}$ , a dla prędkości orbitalnych ciał **krzywą rotacji**. W pierwszej kolejności musimy obliczać numerycznie **krzywą**

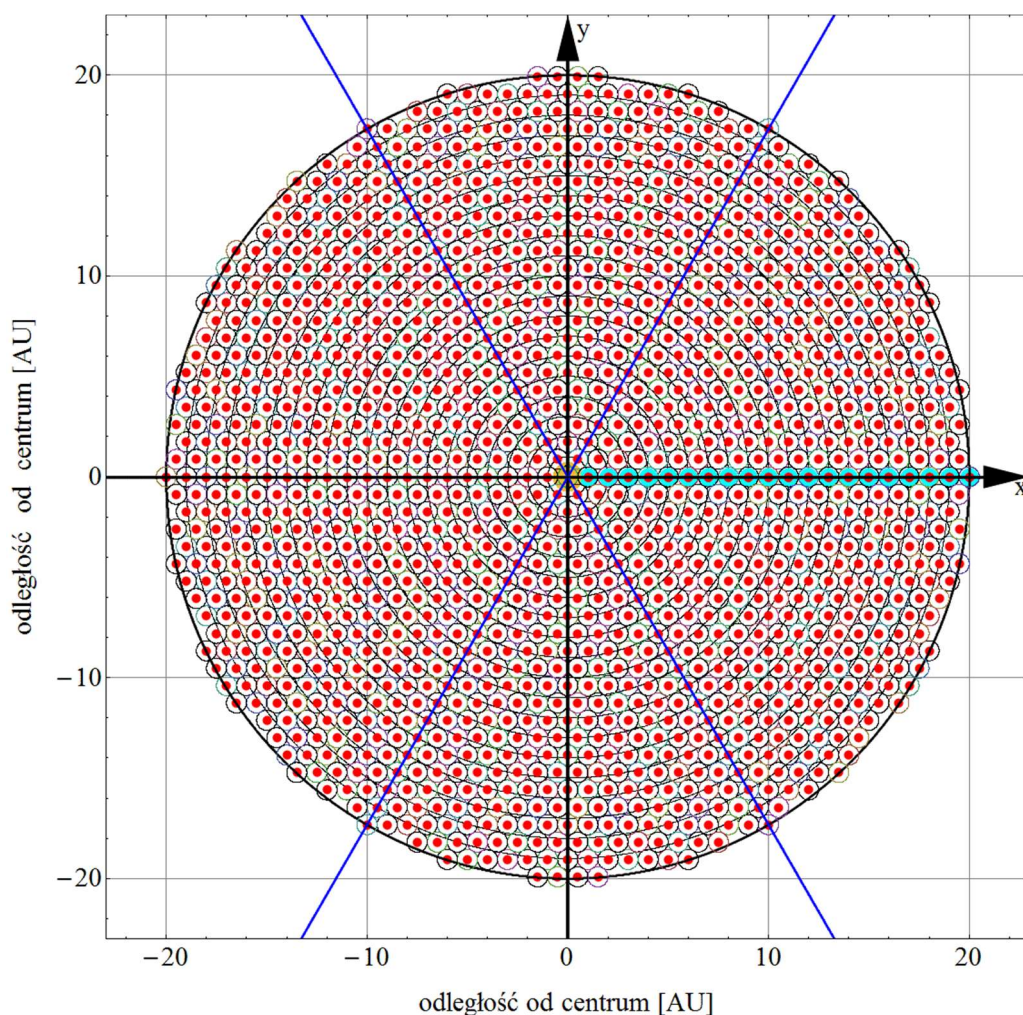
natężenia  $\vec{\gamma}_{r_0}$ , a inne interesujące nas wielkości możemy obliczać ze wzorów podanych wcześniej. Astronomowie mogą zmierzyć tylko prędkości orbitalne gwiazd w galaktykach.

Do obliczenia jednej wartości dla ciała z *krzywej natężenia KzK* musimy wykonać N-1 operacji matematycznych, niezależnie od położenia tego ciała na osi  $0x$ , a każda operacja wymaga kilkanaście działań matematycznych. Dla układu wymienionego wyżej należy wykonać  $2500 \cdot 22,7 \text{ mln} = 56,75 \text{ mld}$  operacji.

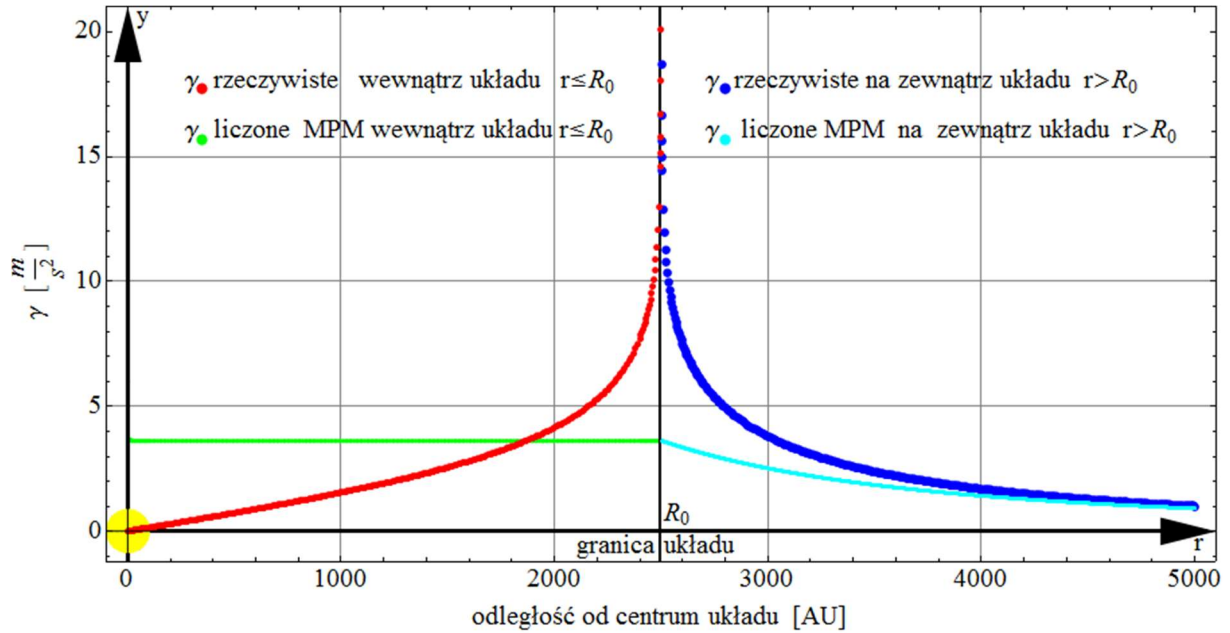
Korzystniej jest obliczać metodą *MPM*, gdyż wystarczy obliczyć tylko ilość ciał w kole o promieniu  $r_0$ , otrzymaną wartość pomnożyć przez  $G$  podzielić przez  $(r_0)^2$ , a obliczenie kilkuset miliardów ciał w układzie zajmuje kilka sekund.

Ale czy tą metodą możemy obliczać jednorodne niesferyczne układy ciał niebieskich, tak jak to jest w przypadku jednorodnej kuli? Niestety nie. Nawet natężenie pola grawitacyjnego na zewnątrz układu należy obliczać metodą *KzK*.

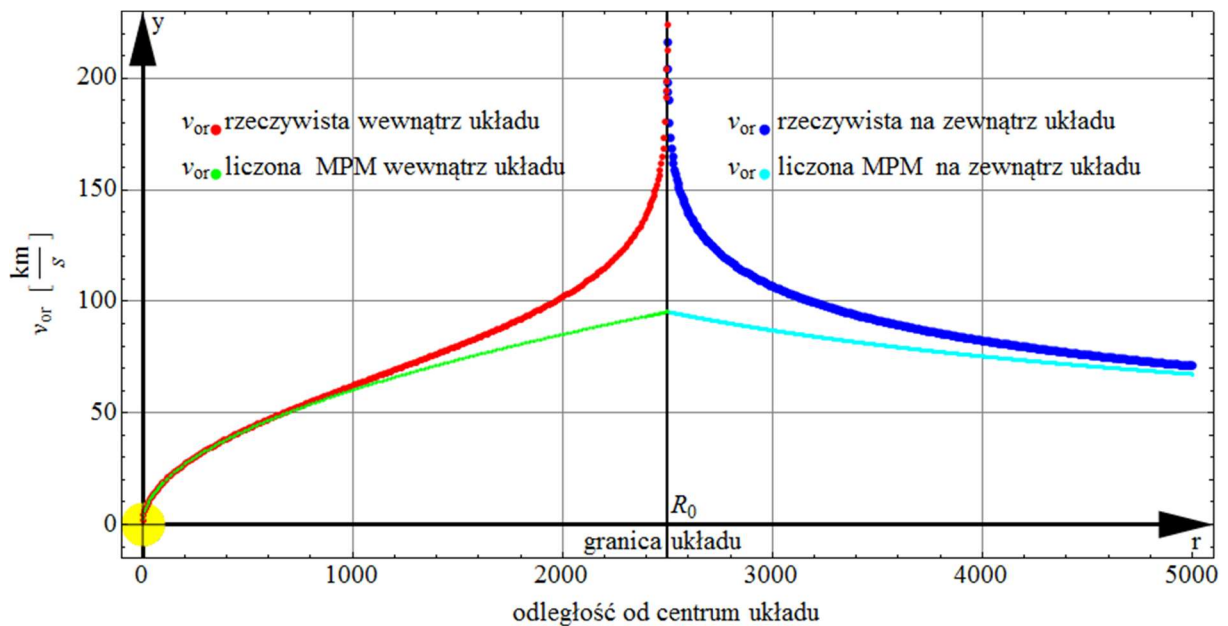
Na Rys. 4.3.5. pokazano na wykresie wyniki, czasochłonnych obliczeń, *krzywej natężenia pola grawitacyjnego* obliczoną metodą *KzK* oraz *MPM*, wewnątrz jak i na zewnątrz układu i jakby nie patrzył nie są one do siebie podobne, tak jak jest to w przypadku jednorodnej kuli, a na Rys. 4.3.6. pokazano wykres krzywej rotacji tego układu. Jak widać to z wykresów, wykresy rzeczywistych danych wielkości, nawet na zewnątrz układu, też nie są krzywymi keplerskimi, tak jak to jest w przypadku jednorodnego układu sferycznego.



Rys. 4.3.4. Jednorodny układ kołowy, gęsto upakowanych jednorodnych kul. Kolorem czerwonym zaznaczono środki kul. Kolorem czarnym zaznaczono granicę kul. Kolorem niebieskim oznaczono kule, dla których będzie liczone natężenie pola grawitacyjnego układu, krzywa rotacji i krzywa prędkości kątowej dla chwili początkowej  $t_0$ . Kolor żółty oznacza ciało centralne.

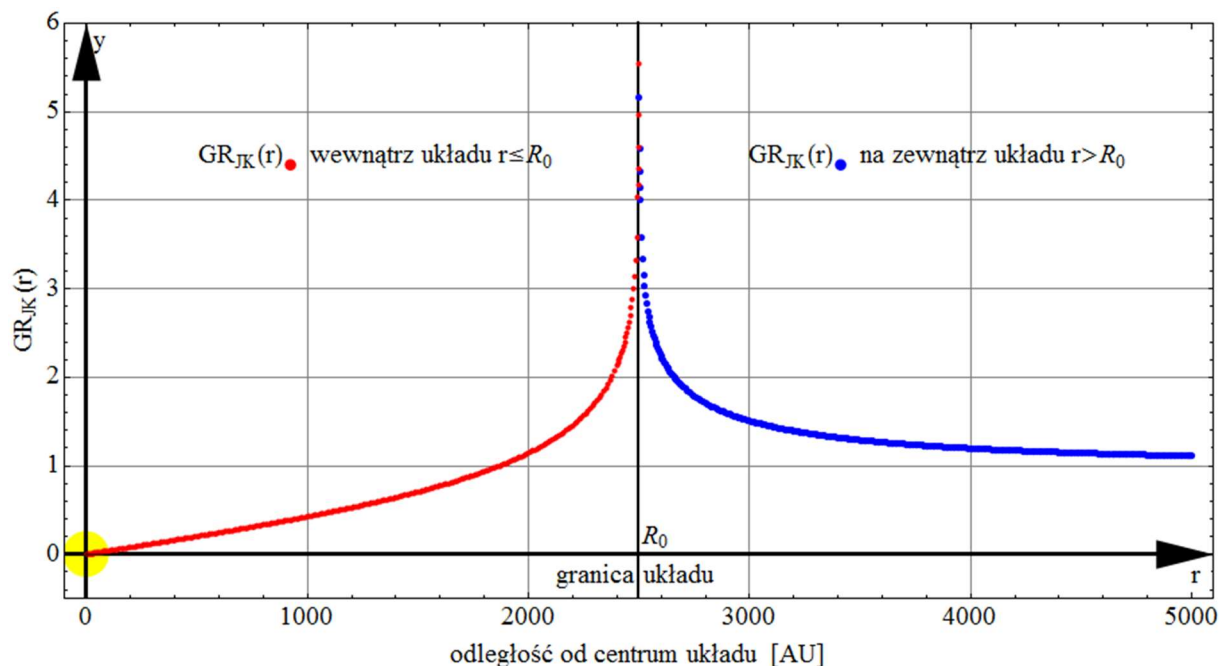


Rys. 4.3.5. Natężenie pola grawitacyjnego pochodzące od jednorodnego układu kołowego, o promieniu  $R_0 = 2500$  i 22,7 mln jednorodnych sferycznych ciał niebieskich obliczona numerycznie. Linia czerwona –  $\gamma_{KzK}$  wewnątrz układu, linia niebieska –  $\gamma_{KzK}$  na zewnątrz układu. Linia zielona –  $\gamma_{MPM}$  wewnątrz układu, linia seledynowa –  $\gamma_{MPM}$  na zewnątrz układu, krzywa keplerowska.



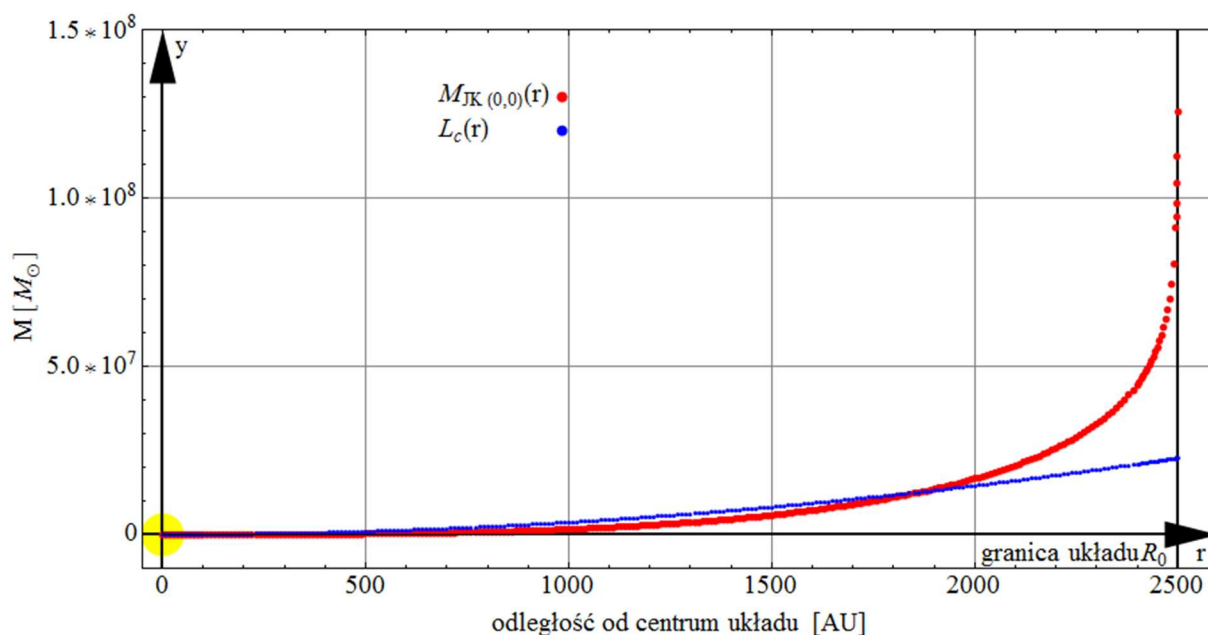
Rys. 4.3.6. Liniowa orbitalna prędkość kołowa (krzywa rotacji) jednorodnego układu kołowego o promieniu  $R_0 = 2500$  i 22,7 mln jednorodnych sferycznych ciał niebieskich obliczona numerycznie. Linia czerwona –  $v_{orKzK}$  wewnątrz układu, linia niebieska –  $v_{orKzK}$  na zewnątrz układu. Linia zielona –  $v_{orMPM}$  wewnątrz układu, linia seledynowa  $v_{orMPM}$  - na zewnątrz układu, krzywa keplerowska.

Na Rys. 4.3.7. pokazano wykres **grawitacyjnego równoważnika jednorodnej kuli  $GR_{JK}(r)$ , dla układu kołowego**. Jest to stosunek natężenia pola grawitacyjnego obliczonego metodą **KzK** do obliczonego metodą **MPM**.



Rys. 4.3.7. Grawitacyjny równoważnik jednorodnej kuli dla jednorodnego układu kołowego, o promieniu  $R_0 = 2500$  i 22,7 mln jednorodnych sferycznych ciał niebieskich obliczona numerycznie. Linia czerwona - wewnątrz układu, linia niebieska - na zewnątrz układu.

Wartość grawitacyjnego równoważnika jednorodnej kuli  $GR_{JK}(r_0)$  odnosi się tylko do wszystkich ciał znajdujących się na orbicie w odległości  $r_0$  od centrum. Dla każdej orbity jest tylko jedna wartość  $GR_{JK}(r_0)$ . Ilość orbit zależy od kształtu niesferycznego układu jednorodnego i jego rozmiarów geometrycznych. Oznacza to, że należałoby umieścić w centrum układu tyle jednorodnych kul w centrum, ile jest orbit w układzie. Można też umieścić jedną kulę jednorodnie sferyczną i każdą sferę przypisać do jednej orbity. Jak to zrobić, oczywiście tylko teoretycznie, Czytelnik znajdzie w „Układach ciał niebieskich związanych grawitacyjnie” [4].



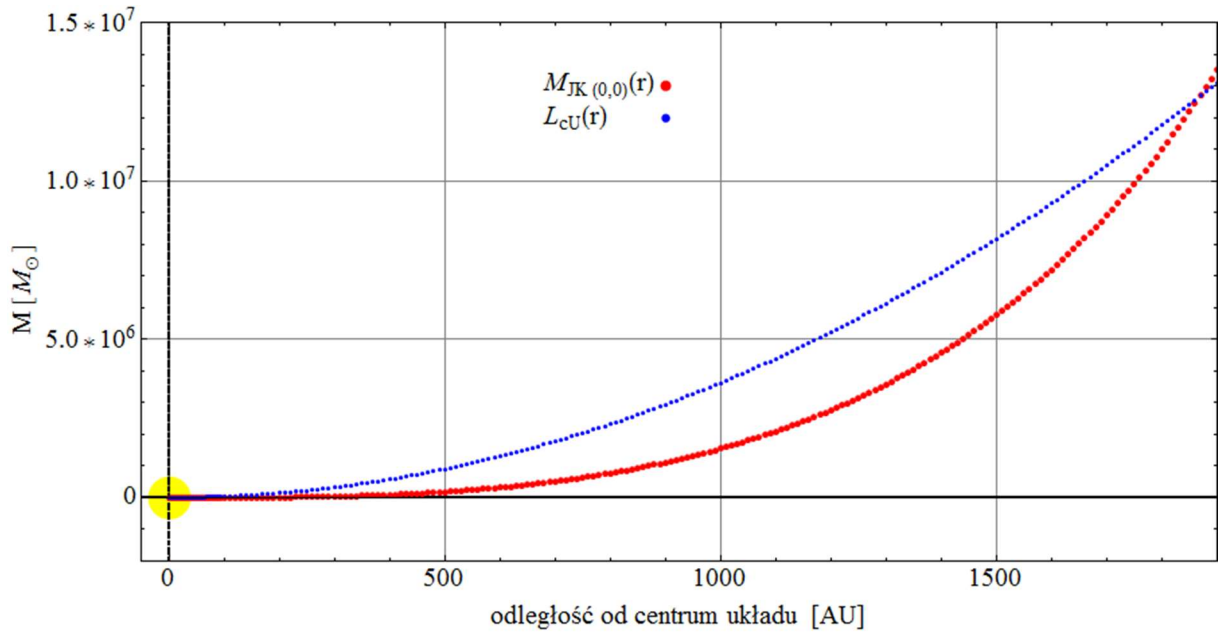
Rys. 4.3.7. Grawitacyjna masa pozorną jednorodnego układu kołowego – linia czerwona ~125 mln, masa rzeczywista 22,7 mln – linia niebieska;



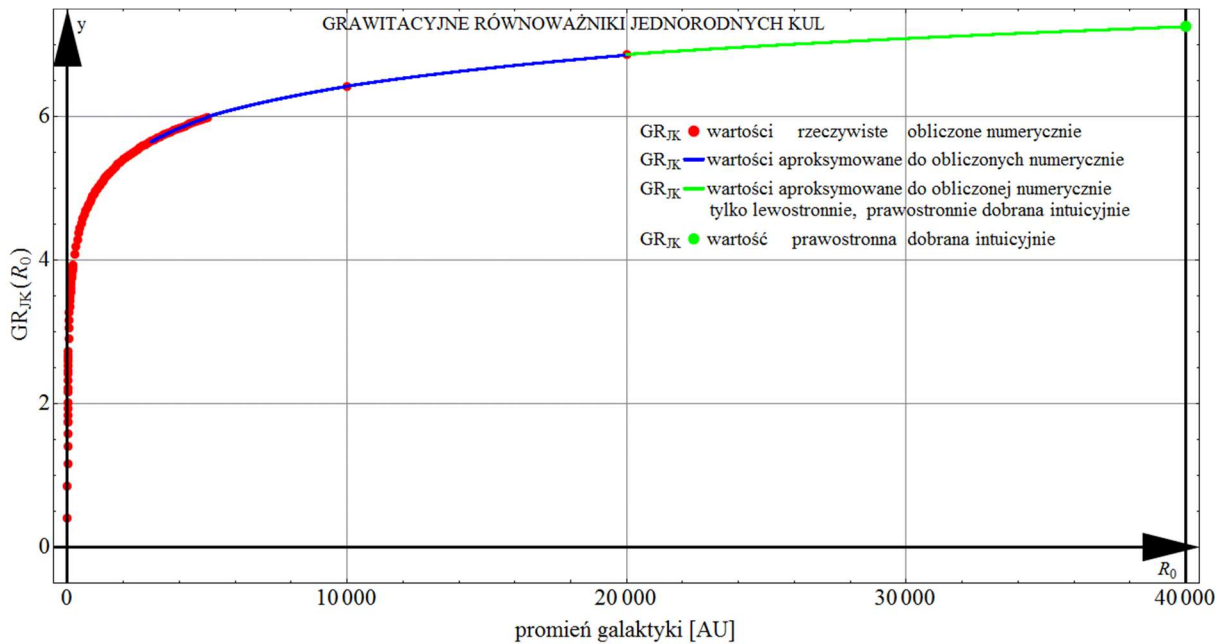
Na Rys. 4.3.7. pokazano wykres grawitacyjnej masy pozornej i masy rzeczywistej w funkcji odległości od centrum. Grawitacyjna masa pozorna,  $M_{0P}(r)$ , układu ciał związanych grawitacyjnie, jest to masa umieszczona w centrum układu, jaką „widzi” ciało układu w odległości  $r$  od centrum układu. Jak widzimy, grawitacyjna masa pozorna,  $M_{0P}(r)$ , jest mniejsza od masy rzeczywistej do pewnej odległości od centrum. Różnica algebraiczna grawitacyjnej masy pozornej i masy rzeczywistej daje grawitacyjną masę urojoną

$$M_{0U}(r) = M_{0P}(r) - M_0(r) \quad (4.1)$$

Na Rys. 4.3.8. pokazano to samo co na Rys. 4.3.7. tylko, że bliżej centrum. Dlaczego tak jest, obszernie i dokładnie wyjaśniono to w książce „Układy ciał niebieskich związanych grawitacyjnie” [4].



Rys. 4.3.8. Grawitacyjna masa pozorna jednorodnego układu kołowego - linia czerwona. masa rzeczywista - linia niebieska.



Rys.4.3.9. Grawitacyjne równoważniki jednorodnej kuli  $GR_{JK}(R_0)$  dla kołowych jednorodnych układów typu  $W$ . Masy układów od  $7M_\odot$  do  $5,804157 \cdot 10^9 M_\odot$

Na Rys. 4.3.9. pokazano stosunek rzeczywistej wartości natężenia pola grawitacyjnego na obwodzie koła do wartości natężenia pola grawitacyjnego liczonego metodą punktu materialnego. *Współczynnik* ten pomnożony przez ilość jednorodnych sferycznych ciał układu, każde o masie  $M_{\odot}$  ( $M_{\odot}$  - masa Słońca), daje w wyniku grawitacyjną masę pozorną układu związanego grawitacyjnie, jaką odczuwa ciało niebieskie układu na krańcu układu, tj. w odległości  $R_0$  od centrum układu, np. dla układu o promieniu **40 000 [AU]** i liczebności  **$5,804157 \cdot 10^9$**  (*pięć miliardów osiemset cztery miliony sto pięćdziesiąt siedem tysięcy*) jednorodnych ciał niebieskich.

#### 4.4. Grawitacyjne równoważniki jednorodnej kuli, symbol $GR_{JK(0,0,0)}(R_0)$ .

Dla niesferycznych układów ciał niebieskich związanych grawitacyjnie, takich jak układy liniowe, spiralne, dyskowe, pierścieniowe, nieregularne, osobliwe itp. autor wprowadził współczynnik  $GR_{JK}(\mathbf{r})$ , jest to stosunek rzeczywistego natężenia pola grawitacyjnego, *obliczonego numerycznie metodą każde z każdym (w dalszej części oznaczanej skrótem  $KzK$ )* w punkcie  $\mathbf{r}$ , *oznaczanego symbolem  $\gamma_{KzK}(\mathbf{r})$*  od centrum układu do natężenia pola grawitacyjnego w punkcie  $\mathbf{r}$  liczonego metodą *punktu materialnego, w dalszej części oznaczanej skrótem  $MPM$* . Obie metody obliczania dynamiki układów ciał związanych grawitacyjnie są opisane w rozdziale „Dynamika układów ciał niebieskich związanych grawitacyjnie”. tak jak liczą to fizycy i astrofizycy do obliczania krzywych rotacji galaktyk spiralnych,  $\gamma_{MPM}(\mathbf{r})$

$$GR_{JK}(\mathbf{r}) = \frac{\gamma_{KzK}(\mathbf{r})}{\gamma_{MPM}(\mathbf{r})} \quad (4.4.1)$$

Jest to współczynnik, który wskazuje, ile razy rzeczywiste natężenie pola grawitacyjnego w odległości  $\mathbf{r}$ ,  $\gamma_{KzK}(\mathbf{r})$ , jest większe od natężenia pola grawitacyjnego obliczonego metodą  $MPM$ ,  $\gamma_{MPM}(\mathbf{r})$ . Jest to równoznaczne z tym, ile razy masa jednorodnej kuli umieszczonej w centrum układu, jest większa lub mniejsza, od masy zawartej wewnątrz obszaru niesferycznego o promieniu  $\mathbf{r}$ , żeby natężenie pola grawitacyjnego w odległości  $\mathbf{r}$  od centrum było równe prędkości rzeczywistej.

Symbolem

$$GR_{JK}(R_0) = \frac{\gamma_{KzK}(R_0)}{\gamma_{MPM}(R_0)} \quad (4.4.2)$$

– oznaczono wartość tego współczynnika dla krańcowego ciała niesferycznego układu związanego grawitacyjnie,  $R_0$  jest promieniem jednorodnego układu kołowego ciał związanych grawitacyjnie

$GR_{JK}(\mathbf{r})$  – jest to symbol Grawitacyjnego Równoważnika Jednorodnej Kuli umieszczonej w centrum układu o współrzędnych  $(0,0,0)$ ,  $(\mathbf{r})$  oznacza odległość od centrum układu, dla której obliczamy wartość równoważnika, a  $(R_0)$  wartość równoważnika dla granicy układu.

Znając wartość  $GR_{JK}(\mathbf{r})$  i masę układu w kole o promieniu  $\mathbf{r}$  można obliczyć grawitacyjną masę, jaką musi mieć sferyczne jednorodne ciało w centrum układu żeby otrzymać rzeczywistą wartość natężenia pola grawitacyjnego. Jest to grawitacyjna masa pozorna.

$$M_{0P}(\mathbf{r}) = M_U(\mathbf{r}) \cdot GR_{JK}(\mathbf{r}) \quad (4.4.3)$$

$M_{0P}(\mathbf{r})$  – grawitacyjna masa pozorna na okręgu o promieniu  $\mathbf{r}$ ,

$M_U(\mathbf{r})$  – rzeczywista masa układu w kole o promieniu  $\mathbf{r}$ .

$$M_{0P}(R_0) = M_{UC}(R_0) \cdot GR_{JK}(R_0) \quad (4.4.4)$$

$M_{0P}(R_0)$  – grawitacyjna masa pozorna dla ciał znajdujących na okręgu o promieniu  $R_0$ ,

$M_{UC}(R_0)$  – rzeczywista masa całego układu kołowego o promieniu  $R_0$ .

$GR_{JK}(r)$  oznacza, ile razy masa jednorodnej kuli umieszczonej w centrum układu jest większa, lub mniejsza, od masy zawartej wewnątrz promienia  $r$ , żeby otrzymać rzeczywiste  $\gamma_{KzK}$  w odległości  $r$  od centrum układu kołowego.

$GR_{JK}(R_0)$  oznacza, ile razy masa jednorodnej kuli umieszczonej w centrum układu jest większa od masy całego układu kołowego, żeby otrzymać rzeczywiste  $\gamma_{KzK}$  w odległości  $R_0$  od centrum układu, tj. na krańcu układu.

Potocznie mówiąc, można obliczyć ile trzeba dołożyć *ciemnej materii* i *masy super masywnych czarnych dziur*, żeby otrzymać rzeczywistą wartość natężenia pola grawitacyjnego. Podamy przykład zastosowania  $GR_{JK}(R_0)$  do obliczenia układu kołowego o  $R_0 = 40\ 000$ [JA]

Rzeczywista masa barionowa (świecąca) układu wynosi  
 $5,804157 \cdot 10^9 \cdot M_{\odot}$  (pięć miliardów osiemset cztery miliony sto pięćdziesiąt siedem tysięcy  $M_{\odot}$ )

$$GR_{JK}(40\ 000) = 7,25203$$

to grawitacyjna masa pozorna wynosi

$$M_{0P} = 5,804157 \cdot 10^9 \cdot M_{\odot} \cdot 7,25203 = 4,20919 \cdot 10^{10} \cdot M_{\odot}$$

(czterdzieści dwa miliardy dziewięćdziesiąt jeden milionów dziewięćset tysięcy)

stąd nadwyżka grawitacyjnej masy pozornej nad rzeczywistą wynosi  
 (grawitacyjna masa urojona  $\equiv$  masa(ciemna materia+super masywne czarne dziury))

$$M_{0U} = 4,20919 \cdot 10^{10} \cdot M_{\odot} - 5,804157 \cdot 10^9 \cdot M_{\odot} = 3,62878 \cdot 10^{10} \cdot M_{\odot}$$

(trzydzieści sześć miliardów dwieście osiemdziesiąt siedem milionów osiemset tysięcy)

Wg  $\Lambda$ CDM masa barionowa (świecąca) stanowi tylko 4,9% masy Wszechświata

$$5,804157 \cdot 10^9 \cdot M_{\odot} - 4,9\%,$$

a *ciemna materia* stanowi aż 26,8% masy Wszechświata

$$\text{ciemna materia} - 26,8\%,$$

z powyższego wynika, że

$$\text{ciemnej materii powinno być } 5,804157 \cdot 10^9 \cdot M_{\odot} \cdot (26,8\% / 4,9\%)$$

$$3,174519 \cdot 10^{10} \cdot M_{\odot}$$

(trzydzieści jeden miliardów siedemset czterdzieści pięć milionów dwieście tysięcy)

pozostała jeszcze nadwyżka grawitacyjnej masy urojonej

$$3,62878 \cdot 10^{10} \cdot M_{\odot} - 3,17452 \cdot 10^{10} \cdot M_{\odot}$$

$$4,5426 \cdot 10^9 \cdot M_{\odot}$$

(cztery miliardy pięćset czterdzieści dwa miliony sześćset tysięcy),

którą

hojnie obdarowano

*SUPERMASYWNĄ CZARNĄ DZIURĘ, lub wiele mniejszych  
 supermasywnych czarnych dziur,*

które sobie drzemią w centrum układu.

**Rzeczywista masa barionowa, która znajduje się w środku układu wynosi dokładnie  $1 \cdot M_{\odot}$  (jedną masę słońca).**

Możemy na to spojrzeć jeszcze inaczej, a mianowicie, jako przekształcenie jednorodnego kołowego układu typu  $W$  o masie całkowitej  $M_W$  i promieniu  $R_{\theta}$  na równoważny układ typu  $D_J$  o masie  $M_{\theta J}$ , równej grawitacyjnej masie pozornej,  $M_{\theta PW}$ , jednorodnego układu kołowego  $W$  i ciała  $m$ , o masie równej 1, obiegającego centrum w odległości  $R_{\theta}$ , co możemy zapisać symbolicznie

$$W(M_W, R_{\theta}) \equiv D_J(M_{\theta PW}, R_{\theta}) \quad (4.4.5)$$

#### 4.5. Liniowe układy jednorodnych ciał sferycznych.

Czy podobnie, jak dla jednorodnej kuli możemy postąpić dla jednorodnego liniowego ciała, dalej nazywanego prętem, tzn. czy natężenie pola grawitacyjnego wewnątrz jednorodnego pręta o długości  $l_0$ , w odległości  $l_0$  od środka pręta, zależy tylko od masy zawartej wewnątrz odcinka  $l_0$ , a masa pręta na zewnątrz od  $l_0$  nie wpływa na wartość natężenia pola grawitacyjnego?

Przypomnijmy, że natężenie pola grawitacyjnego wewnątrz kuli o promieniu  $r_0$  jest równe:

$$\vec{\gamma}_{r_0} = -\frac{G \cdot m_0}{r_0^2} \cdot \frac{\vec{r}_0}{r_0} \left[ \frac{m}{s^2} \right], \quad (4.2.11)$$

Znając długość i gęstość jednorodnego pręta możemy obliczyć jego masę ze wzoru:

$$m = \rho \cdot l_0 \text{ [kg]} \quad (4.5.1)$$

Podstawiając (4.3.1) do (4.2.11) otrzymujemy:

$$\vec{\gamma}_{l_0} = -\frac{G \cdot \rho \cdot l_0}{l_0^2} \cdot \frac{\vec{l}_0}{l_0} \left[ \frac{m}{s^2} \right], \quad (4.5.2)$$

Przyjmując:

$$l_0 \equiv l \text{ [m]}. \quad (4.5.3)$$

otrzymamy:

$$\vec{\gamma}_l = -\frac{G \cdot \rho}{l} \cdot \frac{\vec{l}_0}{l_0} \left[ \frac{m}{s^2} \right]; l > 0 \quad (4.5.4)$$

Jest to zależność natężenia pola grawitacyjnego wewnątrz jednorodnego ciała liniowego w funkcji odległości od centrum wzdłuż układu liniowego. Ze wzoru widzimy, że natężenie pola grawitacyjnego jest wprost proporcjonalnie do gęstości pręta i odwrotnie proporcjonalnie do odległości od środka pręta  $l$ . Wypadkowe natężenie pola grawitacyjnego w środku pręta jest równe  $\theta$ .

Znając natężenie pola grawitacyjnego możemy obliczyć liniową prędkość orbitalną układu liniowego, prostopadłą do pręta.

$$\text{Podstawiając} \quad |\vec{v}_{lok}| = \sqrt{\frac{G \cdot m}{r}} = \sqrt{|\vec{\gamma}| \cdot r}. \quad (4.2.8)$$

do (4.5.4) otrzymamy

$$|\vec{v}_{lok}| = \sqrt{\left| -\frac{G \cdot \rho}{l} \cdot l \right|} = \sqrt{G \cdot \rho} \left[ \frac{m}{s^2} \right] \quad (4.5.9)$$



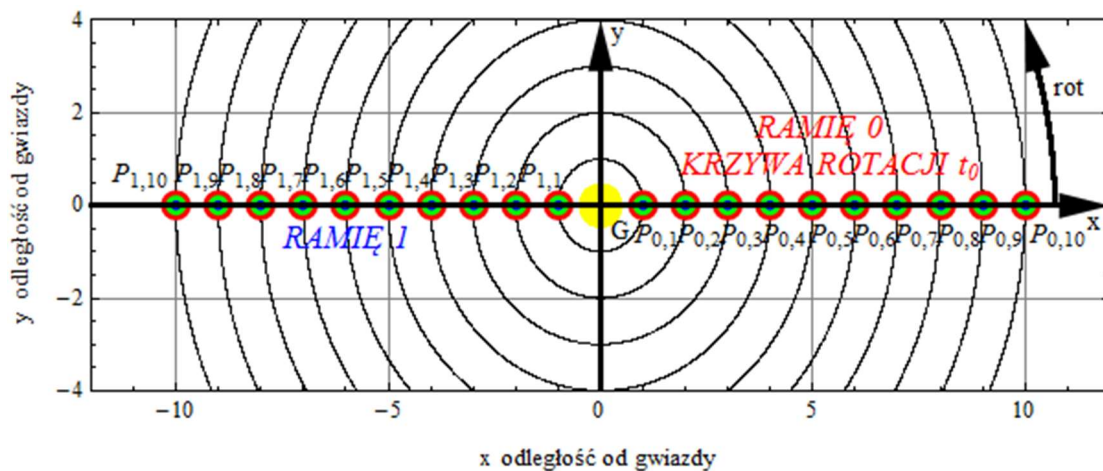
Widzimy, że liniowa orbitalna prędkość kołowa ma wartość stałą dla każdego  $l > 0$ , czyli krzywa rotacji pręta jest stała, czyli płaska, a to oznacza że układ liniowy będzie się wykrzywiał.

Graficznie pokazano to na *Rys.4.5.1.6.1. ÷ Rys.4.5.1.6.5.* dla jednorodnego układu liniowego (dwuramiennego symetrycznego). Ramiona wyginają się w kierunku obrotu układu.

Tak samo zachowują się układy liniowe wieloramiennie foremne, jak pokazano to na *Rys.4.5.1.7.1. ÷ Rys.4.5.1.6.5.* W miarę upływu czasu ramiona układów liniowych wyginają się tworząc spirale. Jeżeli masa układu maleje radialnie, wzdłuż ramion to ramiona wyginają się przeciwnie do kierunku obrotu układu.

#### 4.5.1. Liniowe, jednorodne układy, dwudziestu jeden, jednorodnych ciał sferycznych związanych grawitacyjnie.

Na *Rys.5.1.1.* pokazano położenie wszystkich 21 ciał związanych grawitacyjnie w chwili  $t_0$ , ciała centralnego, zwanego dalej gwiazdą,  $G$ , umieszczonej w punkcie  $(0,0)$ , zaznaczonej kolorem żółtym i 20 planet rozłożonych równomiernie, w chwili początkowej  $t_0$ , na osi  $x$ . Planety zaznaczono kolorem czerwono-zielono-niebieskim. Na każdej orbicie znajdują się dwie planety, o jednakowych masach, położone symetrycznie względem gwiazdy, strzałka **rot** wskazuje kierunek rotacji układu. Kolor czerwony oznacza położenie planet obliczonych *metodą każde z każdym*, **KzK**, kolor zielony obliczone *metodą punktu materialnego*, **MPM**, a kolor niebieski *metodą keplerowską*, **MK**. Trój kolorowe, współśrodkowe, oznaczenie planet w chwili początkowej oznacza, że dla każdej metody położenie jest identyczne.



*Rys. 4.5.1.1. Układ 21 ciał związanych grawitacyjnie w chwili  $t_0$ .*

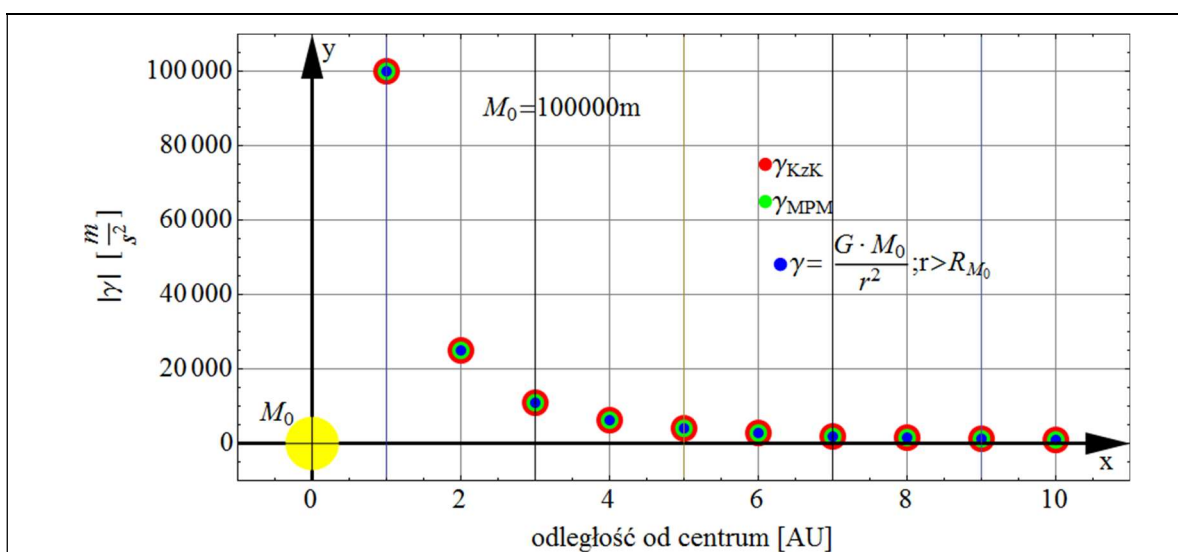
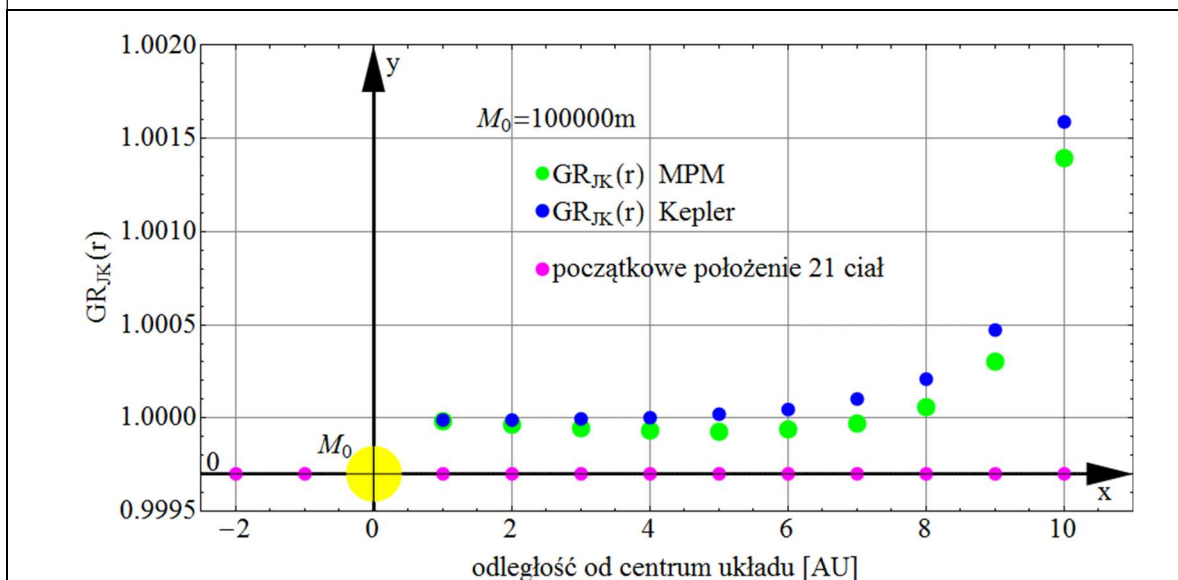
Wartość wszystkich parametrów układu, natężenie pola grawitacyjnego  $NPG$ , liniową orbitalną prędkość kołową  $LOPK$  i prędkość kątową  $PK$ , oraz  $GR_{JK}(r)$  obliczamy tylko w położeniu początkowym, tj. dla chwili  $t_0$  i tylko dla planet położonych na dodatniej półosi  $0x$ , oznaczone jako **RAMIĘ 0**, oczywiście bierzemy pod uwagę wkład pozostałych ciał układu.

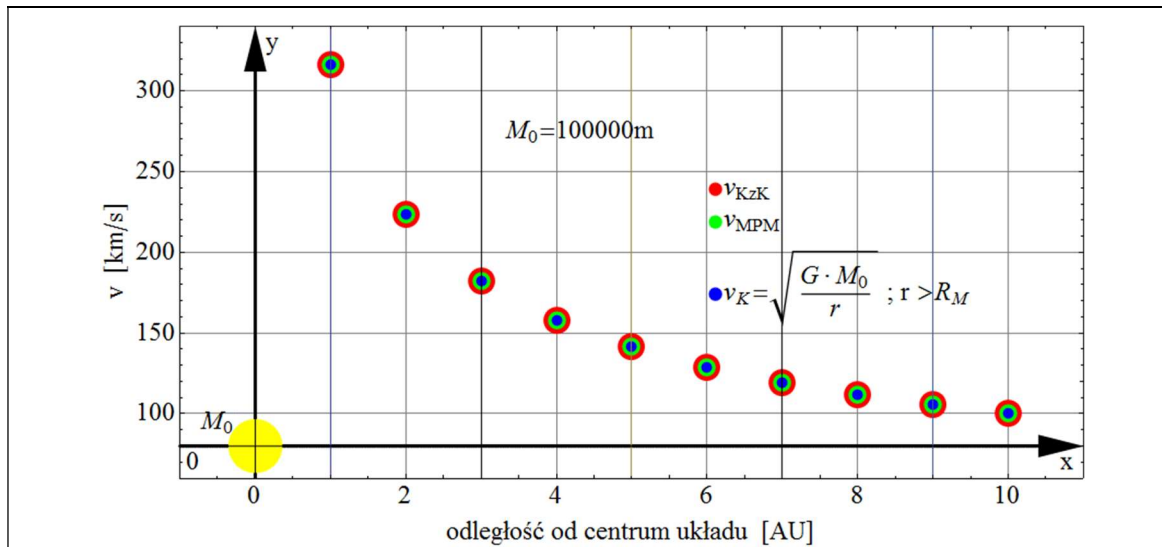
Poniżej pokazano jak zmieniają się parametry układów liniowych w zależności od masy ciała centralnego, nazywanego gwiazdą, którą zmieniamy od  $M_0 = 100.000m$ , co rząd wielkości do  $M_0 = m$ ,  $m$  – masa każdej planety. Uważny Czytelnik zauważył, że w pierwszym przypadku jest to układ typu **J**, a w ostatnim przypadku jest to układ typu **W**. Dla każdej wartości  $M_0$  podano w tabelkach wartości natężenia pola grawitacyjnego, liniową orbitalną prędkość kołową, prędkość kątową oraz wygląd układu po obrocie pierwszej planety układu o  $1/4T$  obliczonej metodą keplerowską. Wartość parametrów każdego układu jest obliczona trzema metodami: **KzK**, **MPM** i **MK** – *metoda keplerowska*, tj. dla **MK** zostawiamy tylko gwiazdę i planetę, dla której obliczamy parametry, a pozostałych planet nie bierzemy pod uwagę.

## 4.5.1.1. Masa gwiazdy jest 100.000 razy większa od masy planety.

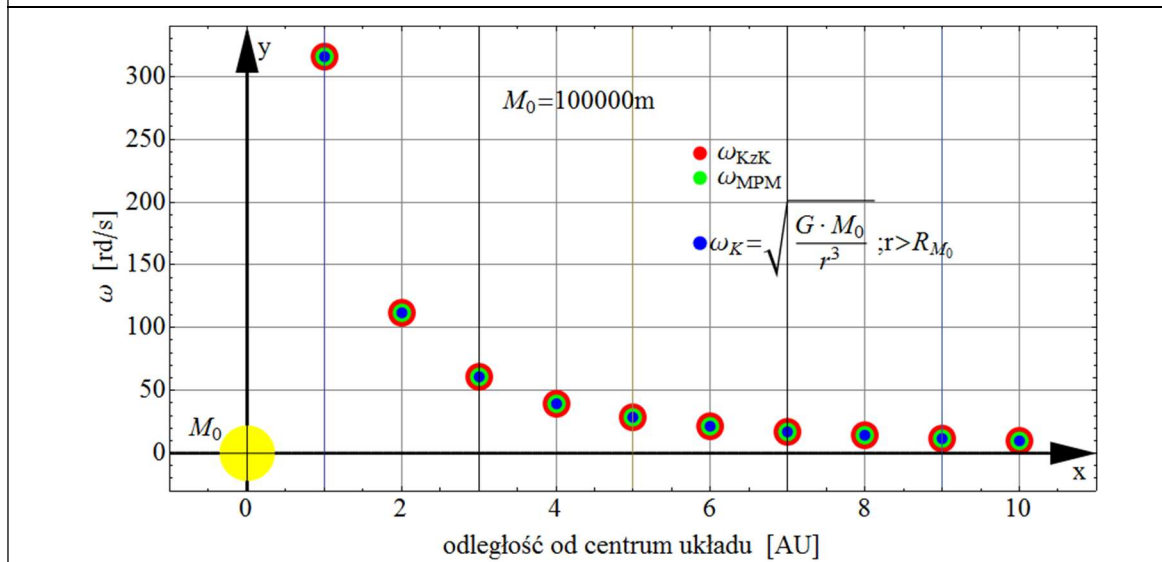
 Tab.4.5.1.1. Wartości NPG, LOPK i PK planet dla  $M_0=100.000m$  obliczonych trzema metodami.

$M_0=100.000m; m=1$										
r	Parametr									
	GR <sub>JK</sub> MPM	Natężenie pola grawitacyjnego			Liniowa orbitalna prędkość kołowa			Prędkość kątowna		
		KzK	MPM	Kepler	KzK	MPM	Kepler	KzK	MPM	Kepler
1	0,999980	99999,0	100001,0	100000	316,226	316,229	316,228	316,226	316,229	316,228
2	0,999962	24999,8	25000,8	25000	223,606	223,610	223,607	111,803	111,805	111,803
3	0,999945	11111,1	11111,7	11111	182,574	182,579	182,574	60,858	60,860	60,858
4	0,999934	6250,0	6250,4	6250	158,114	158,119	158,114	39,529	39,530	39,529
5	0,999929	4000,1	4000,4	4000	141,423	141,428	141,421	28,285	28,286	28,284
6	0,999938	2777,9	2778,1	2778	129,103	129,107	129,099	21,517	21,518	21,517
7	0,999971	2041,0	2041,1	2041	119,529	119,531	119,523	17,076	17,076	17,075
8	1,000060	1562,8	1562,7	1561	111,815	111,812	111,803	13,977	13,977	13,975
9	1,000300	1235,2	1234,8	1235	105,434	105,418	105,409	11,715	11,713	11,712
10	1,001400	1001,6	1000,2	1000	100,079	100,009	100,000	10,0079	10,001	10,000

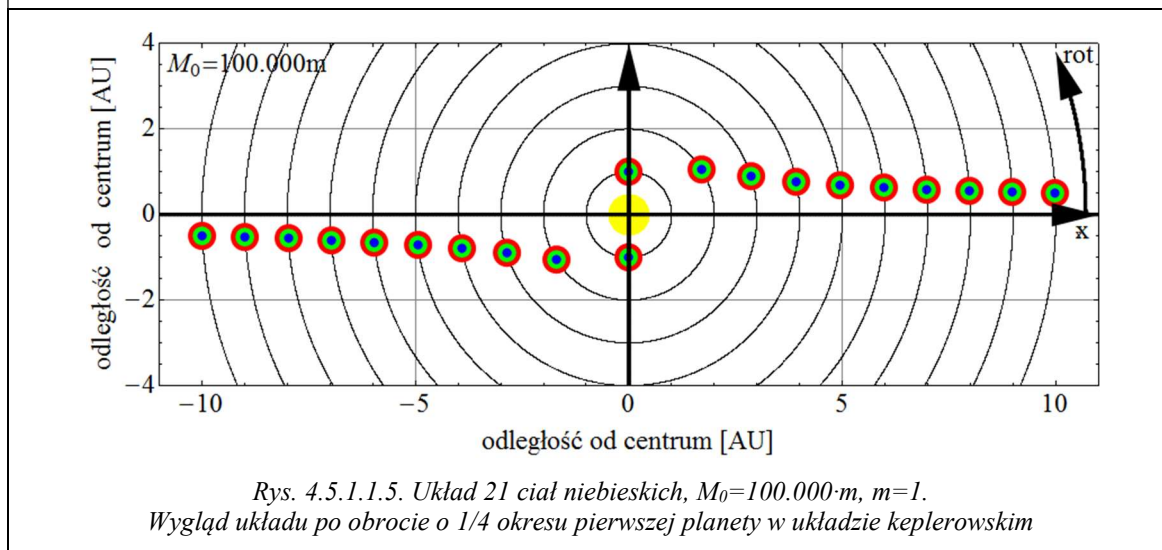

 Rys. 4.5.1.1.1. Układ 21 ciał niebieskich,  $M_0=100.000m$ . Natężenie pola grawitacyjnego

 Rys. 4.5.1.1.2.  $GR_{JK} M_0=100.000m$



Rys. 4.5.1.1.3. Układ 21 ciał niebieskich,  $M_0=100.000m$ . Krzywa rotacji układu



Rys. 4.5.1.1.4. Układ 21 ciał niebieskich,  $M_0=100.000m$ . Prędkość kątowna.

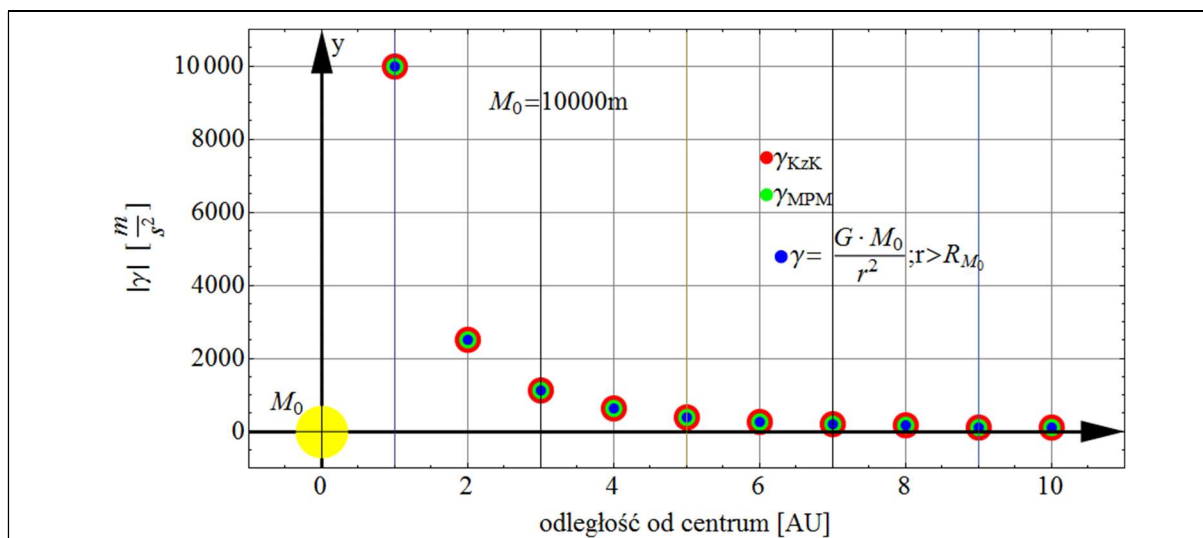
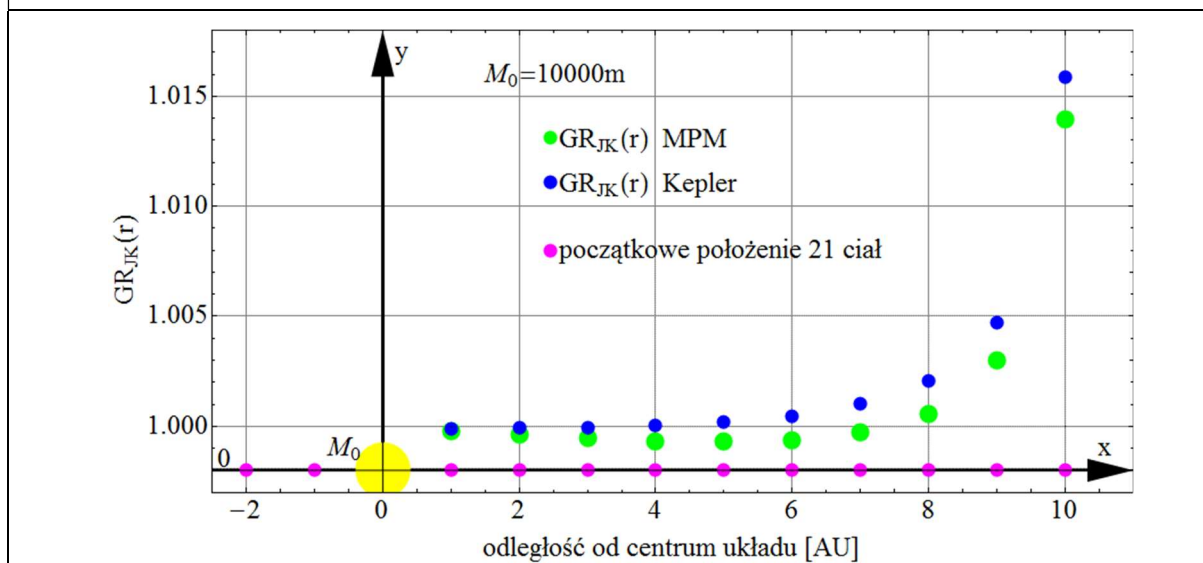


Rys. 4.5.1.1.5. Układ 21 ciał niebieskich,  $M_0=100.000m$ ,  $m=1$ . Wygląd układu po obrocie o 1/4 okresu pierwszej planety w układzie keplerowskim

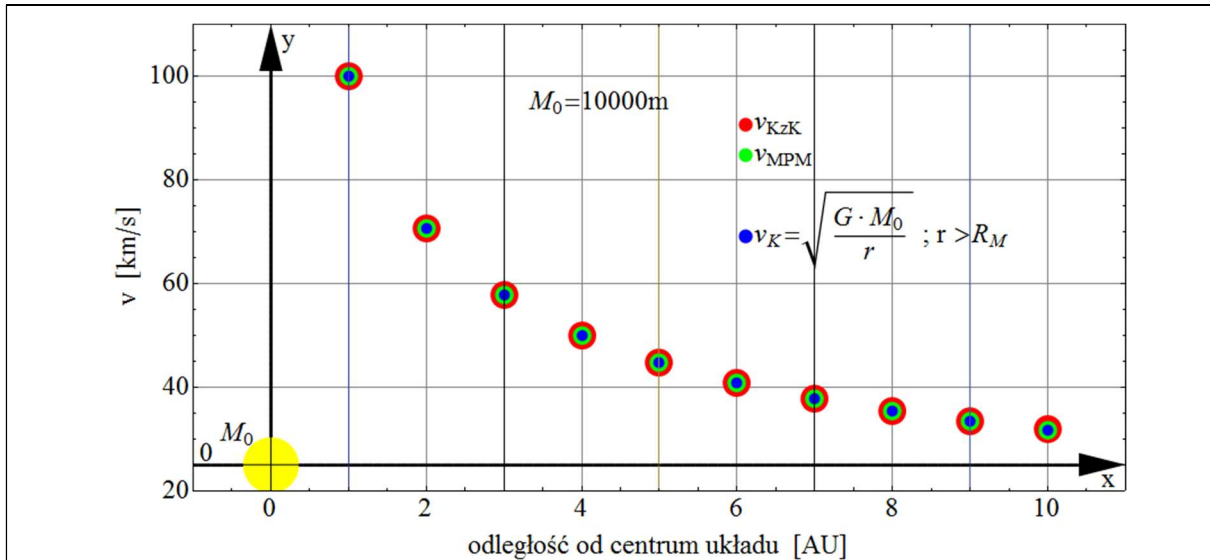
## 4.5.1.2. Masa gwiazdy jest 10.000 razy większa od masy planety.

 Tab.4.5.1.2. Wartości NPG, LOPK i PK planet dla  $M_0=10.000\text{-}m$  obliczonych trzema metodami.

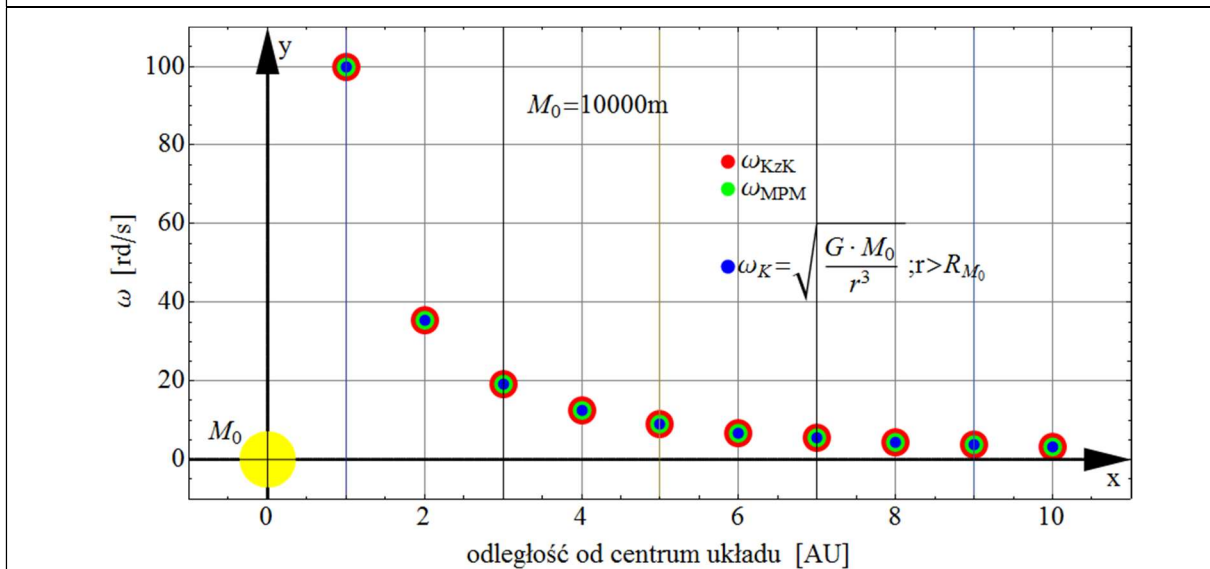
$M_0=10.000m; m=1$										
r	Parametr									
	GR <sub>JK</sub> MPM	Natężenie pola grawitacyjnego			Liniowa orbitalna prędkość kołowa			Prędkość kątowna		
		KzK	MPM	Kepler	KzK	MPM	Kepler	KzK	MPM	Kepler
1	0,999802	9999,02	10001,0	10000,0	99,9951	100,005	100,000	99,9951	100,005	100,0000
2	0,999615	2499,79	2500,8	2500,0	70,7077	70,721	70,711	35,3538	35,361	35,3553
3	0,999453	1111,06	1111,7	1111,1	57,7337	57,750	57,735	19,2446	19,250	19,2450
4	0,999336	625,022	625,4	625,0	50,0009	50,742	50,000	12,500	12,504	12,5000
5	0,999293	400,077	400,4	400,0	40,8346	44,739	44,721	8,94513	8,948	8,9443
6	0,999379	277,911	278,1	277,8	44,7257	40,847	40,825	6,80577	6,808	6,8041
7	0,999711	204,288	204,3	204,1	37,8155	37,821	37,796	5,40222	5,403	5,3995
8	1,000580	156,575	156,5	156,1	35,3921	35,382	35,355	4,42401	4,423	4,4194
9	1,000300	124,038	123,7	123,5	33,4117	33,362	33,333	3,71241	3,423	3,7037
10	1,013940	101,586	100,2	100,0	31,8726	31,653	31,623	3,18726	3,165	3,1623


 Rys. 4.5.1.2.1 Układ 21 ciał niebieskich,  $M_0=10.000\text{-}m$ . Natężenie pola grawitacyjnego.

 Rys. 4.5.1.2.2. Układ 21 ciał niebieskich,  $M_0=10.000\text{-}m$ .  $GR_{JK}(r)$

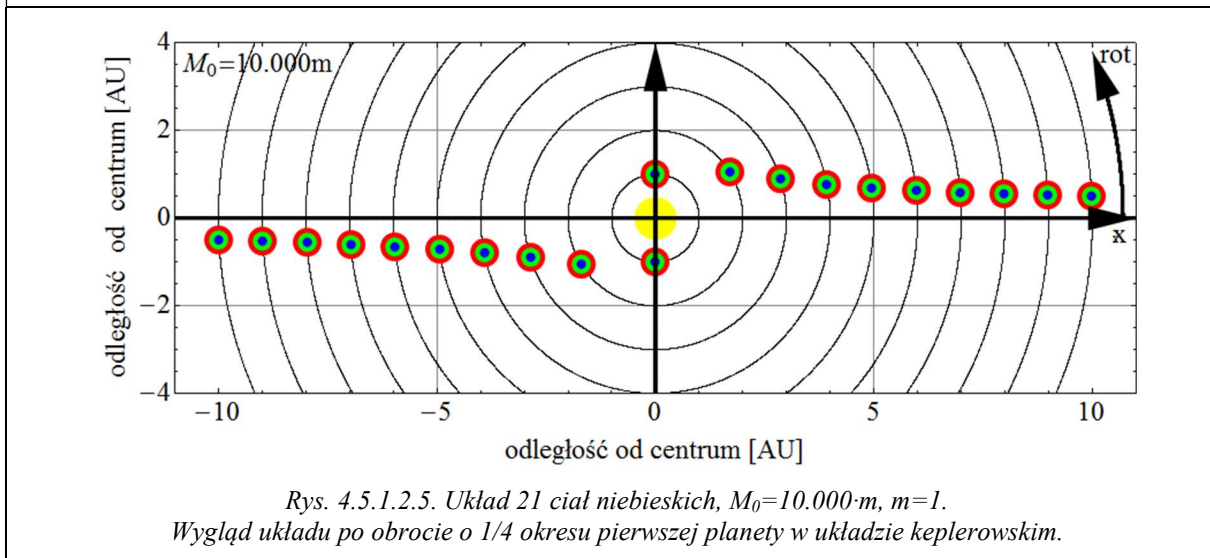




Rys. 4.5.1.2.3. Układ 21 ciał niebieskich,  $M_0=10\cdot 000m$ . Krzywa rotacji układu.



Rys. 4.5.1.2.4. Układ 21 ciał niebieskich,  $M_0=10\cdot 000\cdot m$ . Prędkość kątowna.

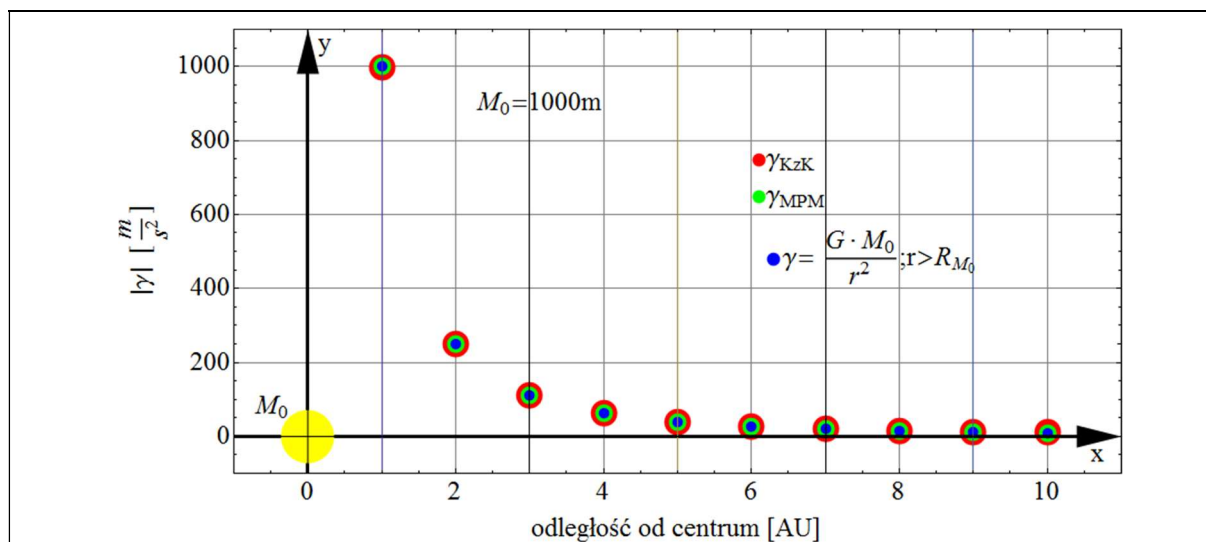
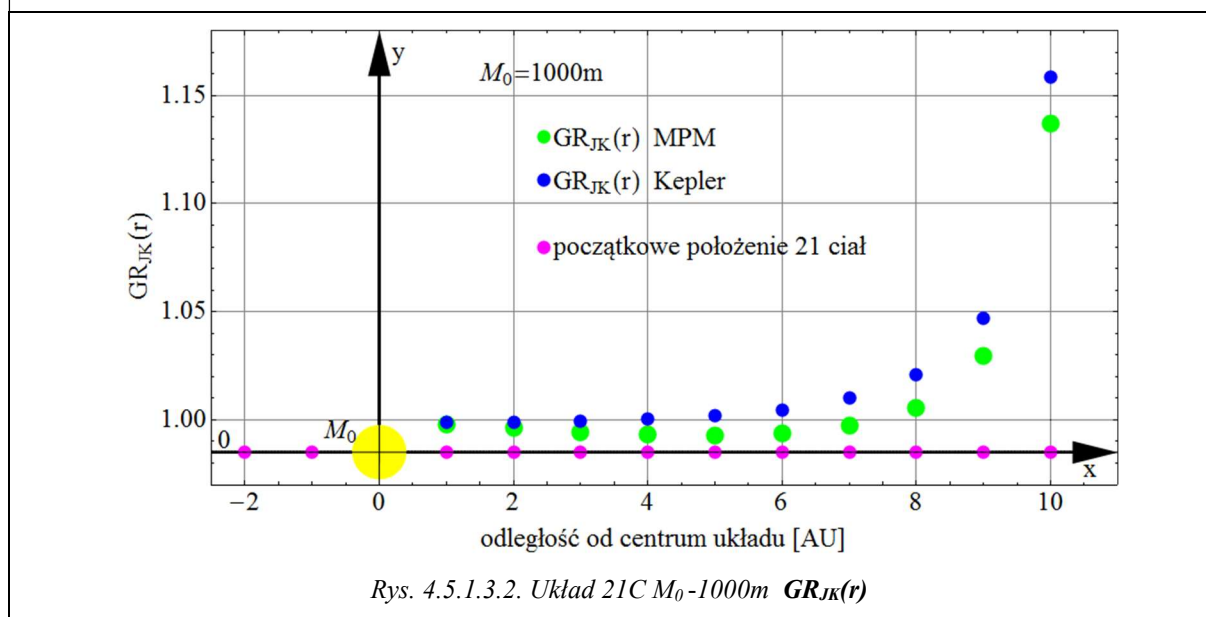


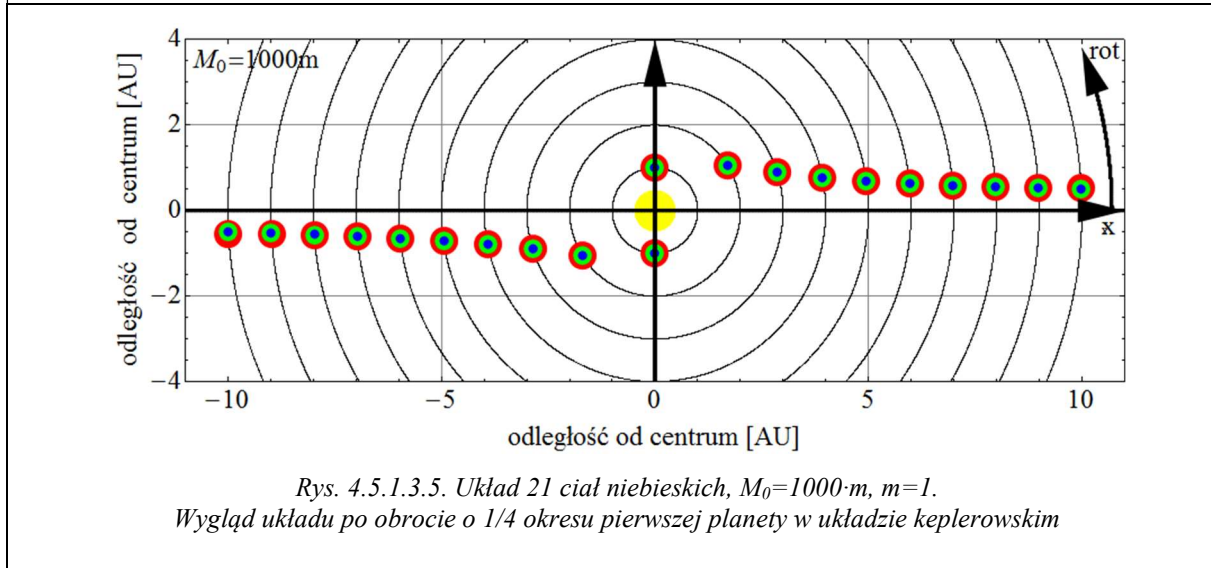
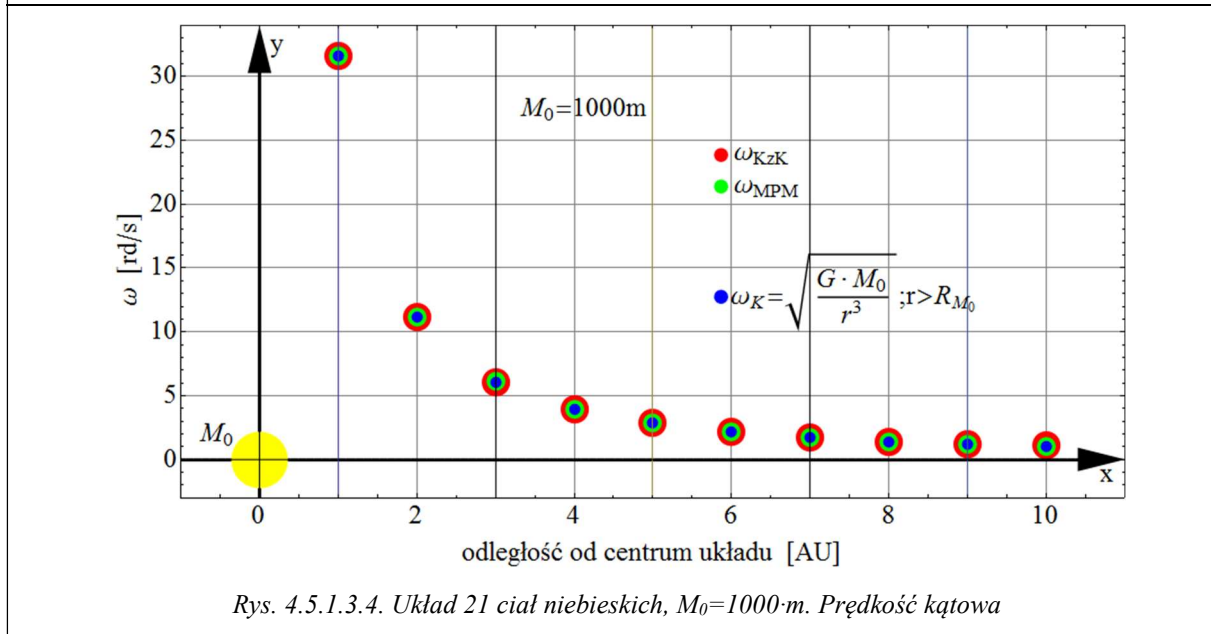
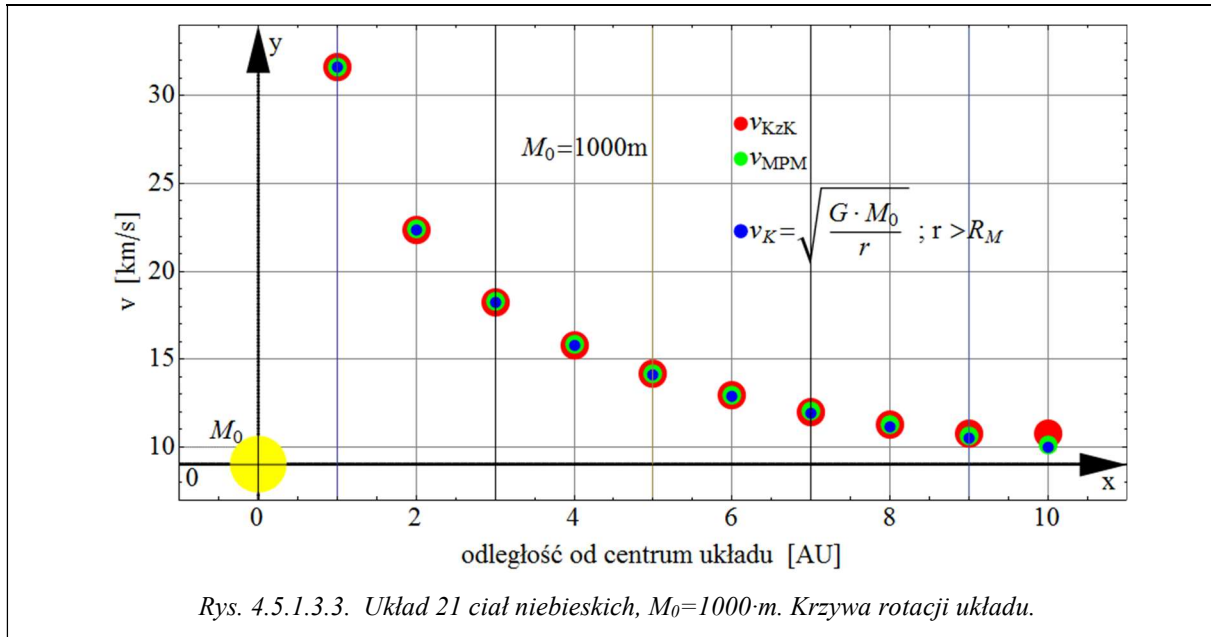
Rys. 4.5.1.2.5. Układ 21 ciał niebieskich,  $M_0=10\cdot 000\cdot m$ ,  $m=1$ . Wygląd układu po obrocie o 1/4 okresu pierwszej planety w układzie keplerowskim.

## 4.5.1.3 Masa gwiazdy jest 1000 razy większa od masy planety.

 Tab.4.5.1.3. Wartości NPG, LOPK planet dla  $M_0=1000m$  obliczonych trzema metodami.

$M_0=1000m; m=1$										
r	Parametr									
	GR <sub>JK</sub> MPM	Natężenie pola grawitacyjnego			Liniowa orbitalna prędkość kołowa			Prędkość kątowna		
		KzK	MPM	Kepler	KzK	MPM	Kepler	KzK	MPM	Kepler
1	0,998020	999,018	1001,00	1000,00	31,6073	31,6386	31,6228	31,6073	31,6386	31,6228
2	0,996162	249,788	250,75	250,00	22,3512	22,3942	22,3607	11,1756	11,1971	11,1803
3	0,994559	111,059	111,67	111,11	18,2531	18,3030	18,2574	6,08438	6,1010	6,0858
4	0,99340	62,522	62,938	62,50	15,8142	15,8666	15,8114	3,95355	3,9667	3,9529
5	0,992984	40,077	40,360	40,00	14,1557	14,2056	14,1421	2,83114	2,8411	2,8284
6	0,993854	27,911	28,083	27,78	12,9408	12,9808	12,9099	2,1568	2,1635	2,1517
7	0,997145	20,615	20,674	20,41	12,0125	12,0297	11,9523	1,7161	1,7185	1,7075
8	1,005730	15,950	15,859	15,63	11,2961	11,2639	11,1803	1,4120	1,4080	1,3975
9	1,029580	12,927	12,556	12,35	10,7862	10,6301	10,5409	1,1985	1,1811	1,1712
10	1.137010	11,586	10,190	10,00	10,7639	10,0946	10,0000	1,0764	1,0095	1,0000

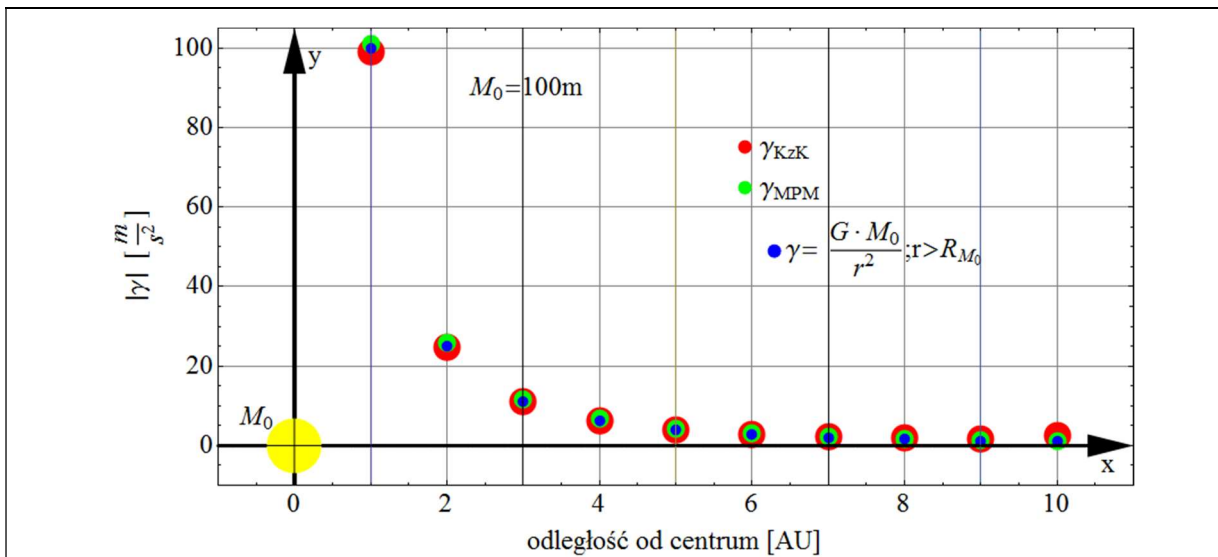

 Rys. 4.5.1.3.1. Układ 21 ciał niebieskich,  $M_0=1000m$ . Natężenie pola grawitacyjnego.

 Rys. 4.5.1.3.2. Układ 21C  $M_0=1000m$   $GR_{JK}(r)$



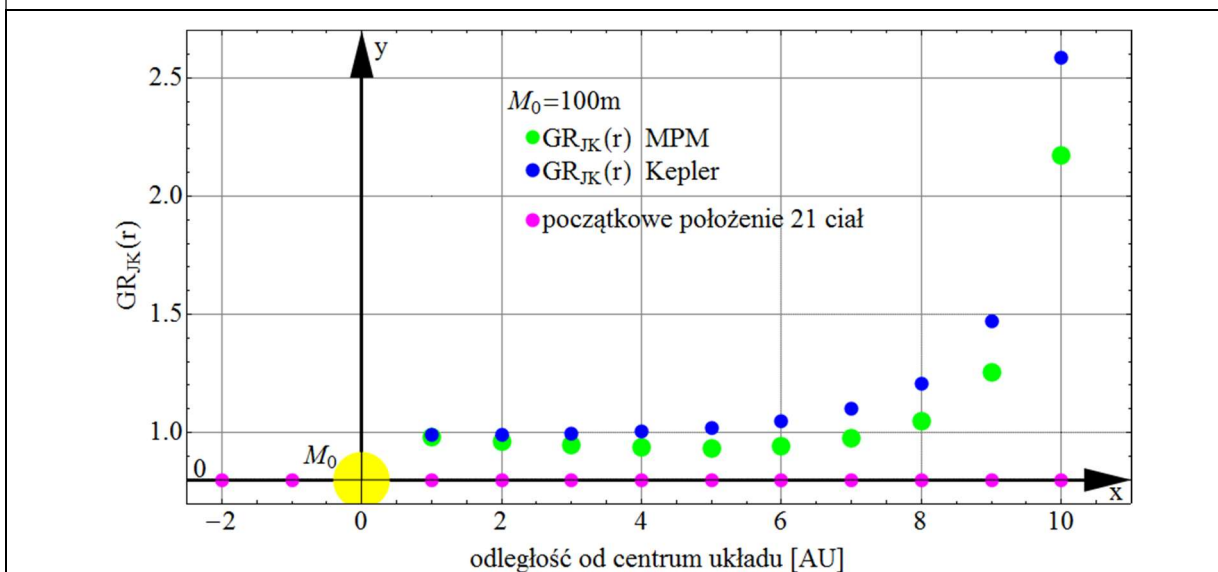
4.5.1.4. Masa gwiazdy jest 100 razy większa od masy planety.

Tab.4.5.1.4. Wartości NPG, LOPK i PK planet dla  $M_0=100m$  obliczonych trzema metodami.

$M_0=100m; m=1$										
r	Parametr									
	GR <sub>JK</sub> MPM	Natężenie pola grawitacyjnego			Liniowa orbitalna prędkość kołowa			Prędkość kątowna		
		KzK	MPM	Kepler	KzK	MPM	Kepler	KzK	MPM	Kepler
1	0,980379	99,0183	101,0000	100,000	9,95079	10,0499	10,0000	9,95079	10,0499	10,0000
2	0,962623	24,7876	25,7500	25,000	7,04096	7,1764	7,0711	3,52048	3,5882	3,5355
3	0,47923	11,0591	11,6667	11,111	5,75997	5,9161	5,7735	1,91999	1,9720	1,9245
4	0,946733	6,27211	6,6875	6,250	5,00883	5,1720	5,0000	1,25221	1,2930	1,2500
5	0,935053	4,07683	4,3600	4,000	4,51488	4,6691	4,4721	0,90298	0,9338	0,8944
6	0,944022	2,91074	3,0833	2,778	4,17904	4,3012	4,0825	0,69651	0,7169	0,6804
7	0,974408	2,24710	2,3061	2,041	3,96607	4,0178	3,7796	0,56658	0,7397	0,5399
8	1,05058	1,88777	1,7969	1,563	3,88615	3,7914	3,5355	0,48577	0,4739	0,4419
9	1,25715	1,81589	1,4444	1,235	4,04264	3,6059	3,3333	0,44918	0,4006	0,3989
10	2,17325	2,58616	1,1900	1,000	5,08543	3,4496	3,1623	0,50854	0,3450	0,3435

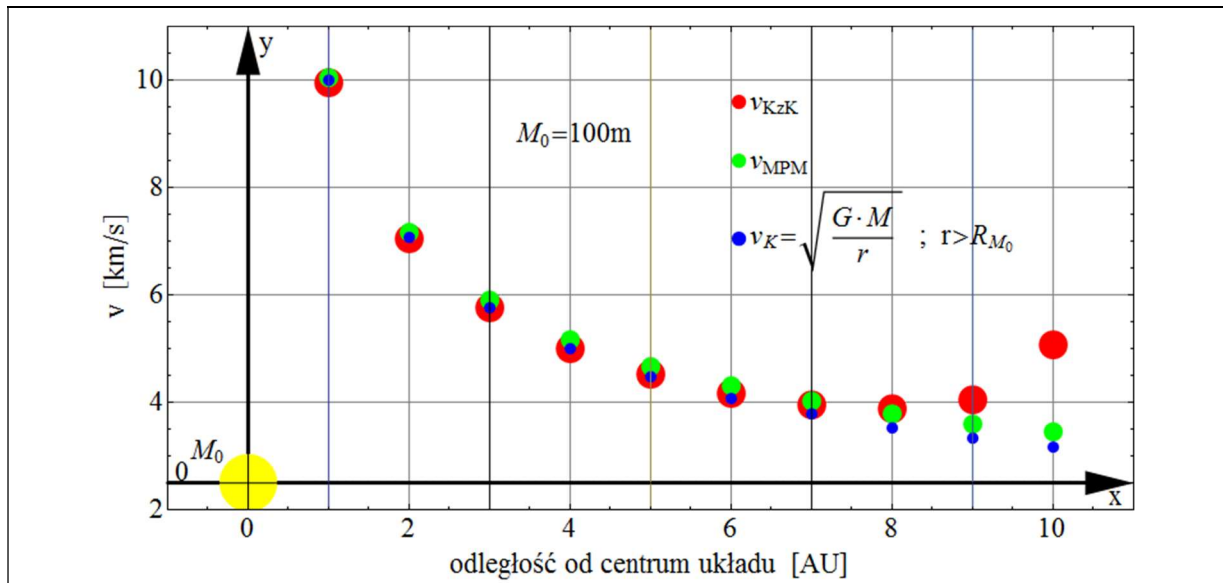


Rys. 4.5.1.4.1. Układ 21 ciał niebieskich,  $M_0=100m$ . Natężenie pola grawitacyjnego.

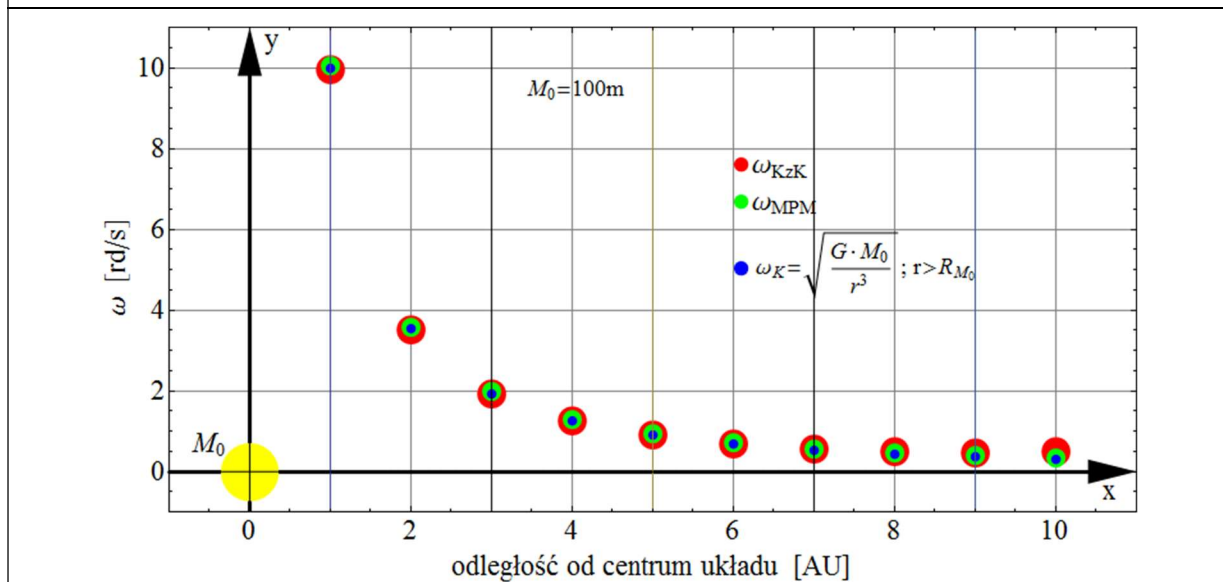


Rys. 4.5.1.4.1.  $M_0=100m$ .  $GR_{JK}(r)$

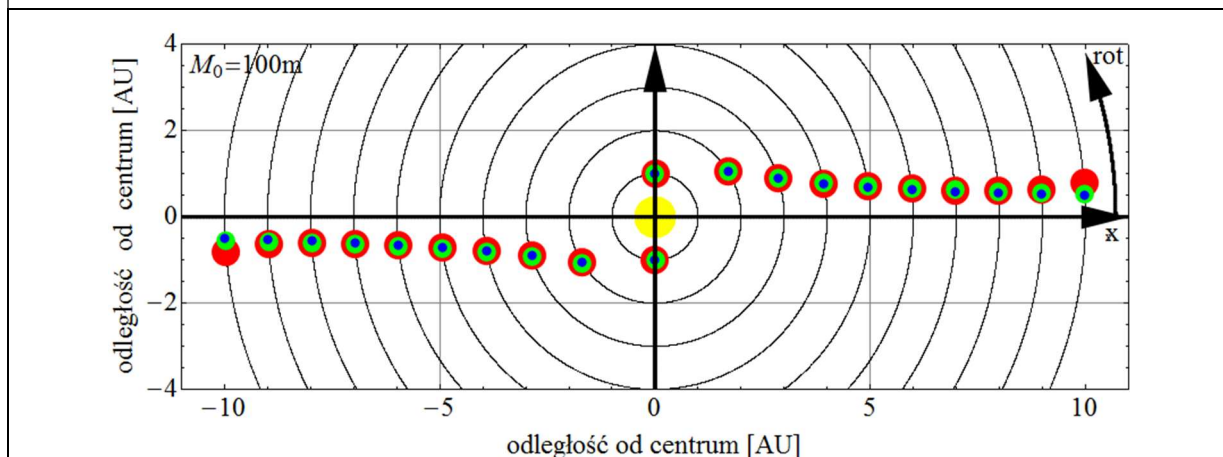




Rys.4.5.1.4.3. Układ 21 ciał niebieskich,  $M_0=100m$ . Krzywa rotacji układu.



Rys.4.5.1.4.4. Układ 21 ciał niebieskich,  $M_0=100m$ . Prędkość kątowna.

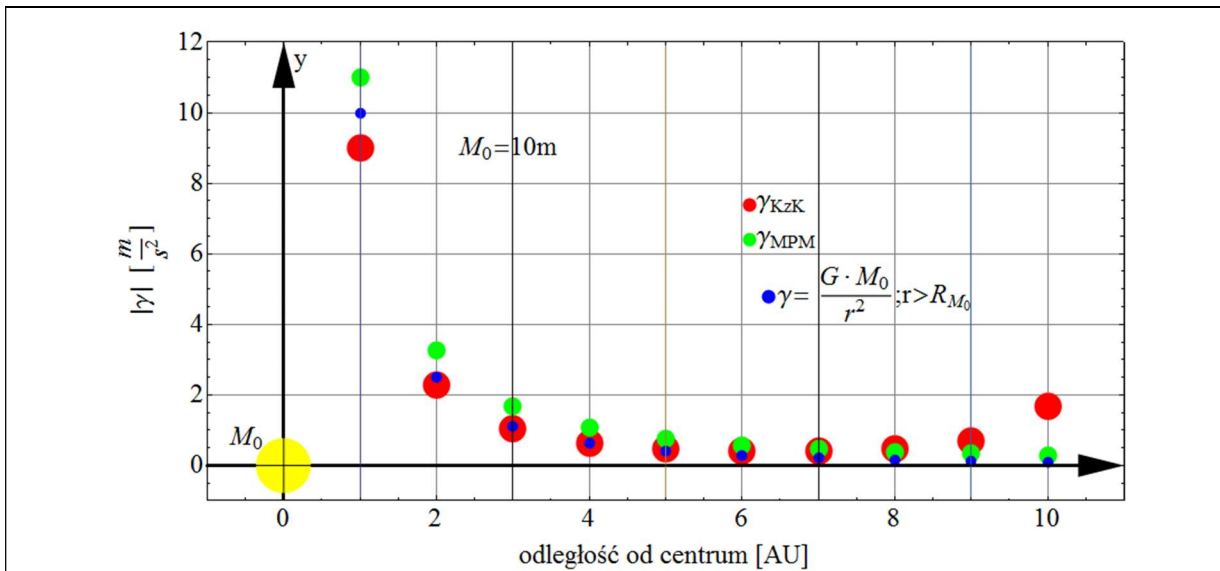
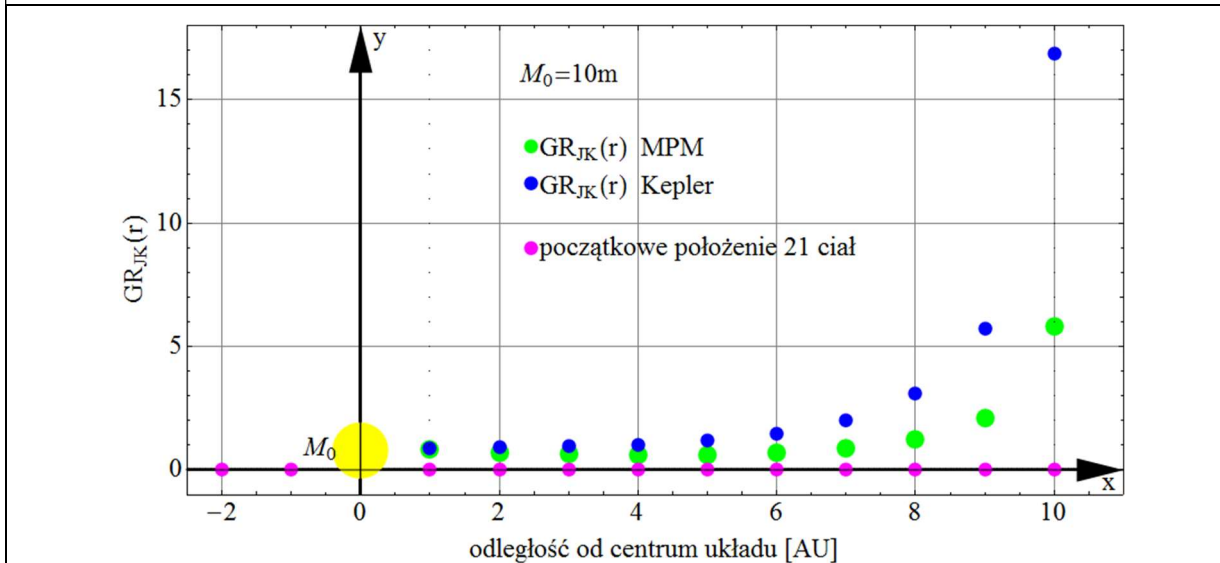


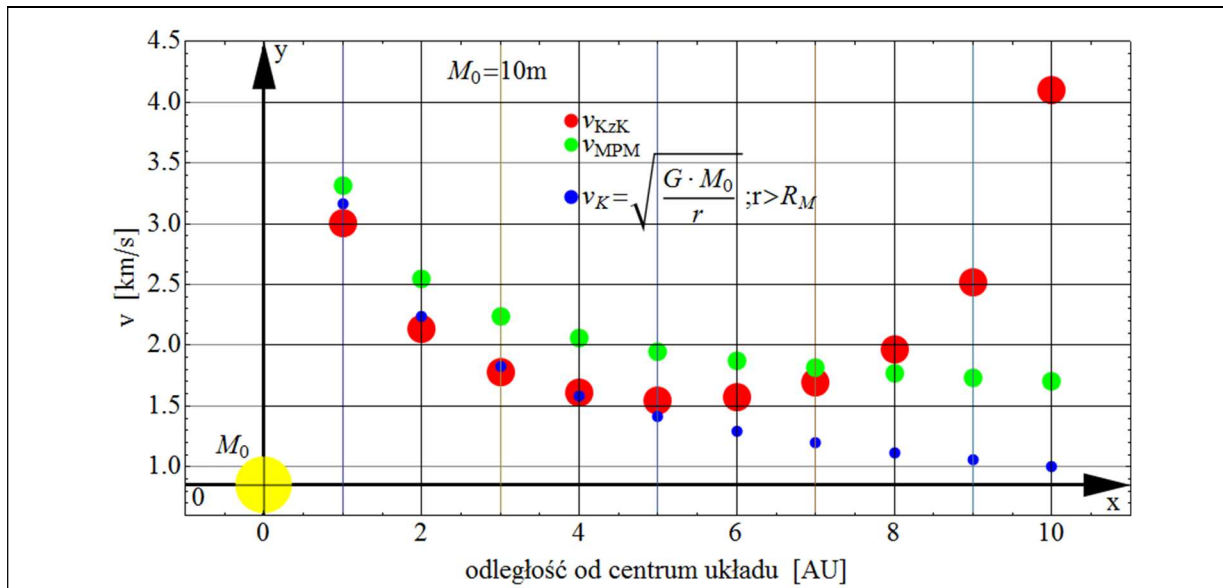
Rys.4.5.1.4.5. Układ 21 ciał niebieskich,  $M_0=100m$ ,  $m=1$ . Wygląd układu po obrocie o 1/4 okresu pierwszej planety w układzie keplerowski

## 4.5.1.5. Masa gwiazdy jest 10 razy większa od masy planety.

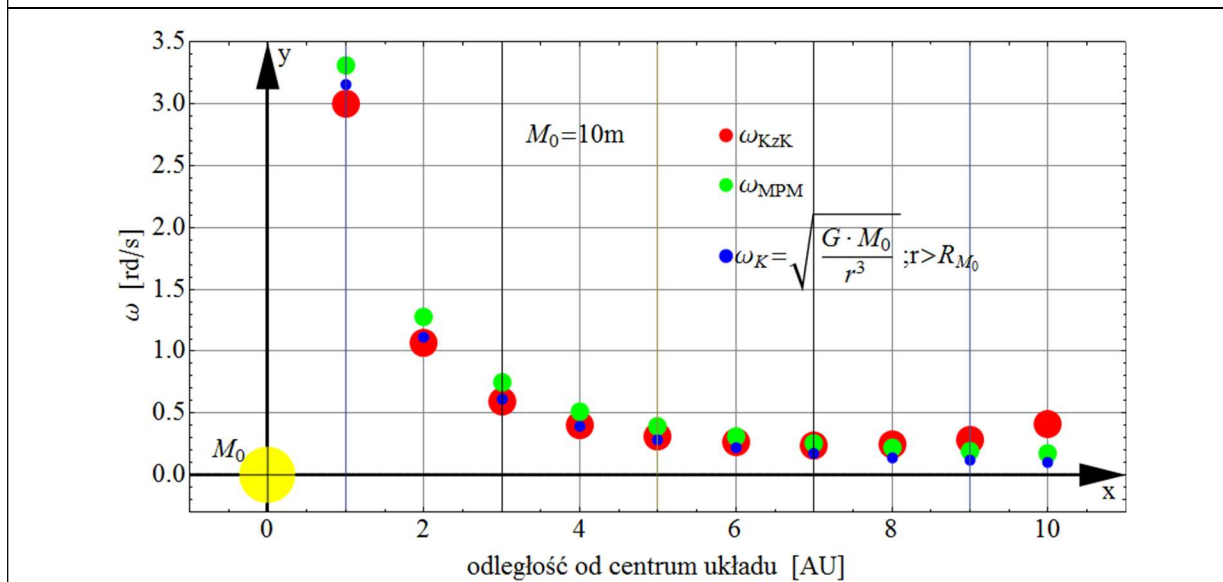
 Tab.4.5.1.5. Wartości NPG, LOPK planet dla  $M_0=10m$  obliczonych trzema metodami.

M=10m; m=1										
r	Parametr									
	GR <sub>JK</sub> MPM	Natężenie pola grawitacyjnego			Liniowa orbitalna prędkość kołowa			Prędkość kątowna		
		KzK	MPM	Kepler	KzK	MPM	Kepler	KzK	MPM	Kepler
1	0,819842	9,01826	11,0000	10,0000	3,00304	3,31662	3,16228	3,00304	3,31662	3,16228
2	0,703863	2,28755	3,2500	2,5000	2,13895	2,54951	2,23607	1,06948	1,27475	1,11803
3	0,635458	1,05910	1,6667	1,1111	1,78250	2,23607	1,82574	0,59415	0,74536	0,60858
4	0,609042	0,64711	1,0625	0,6250	1,60886	2,06155	1,58114	0,40222	0,51539	0,39529
5	0,627407	0,47683	0,7600	0,4000	1,54407	1,94936	1,41421	0,30881	0,38987	0,28284
6	0,704118	0,41074	0,5833	0,2778	1,56984	1,87083	1,29099	0,26164	0,31181	0,21517
7	0,874265	0,41037	0,4694	0,2041	1,69487	1,81265	1,19523	0,24212	0,25891	0,17075
8	1,232690	0,48152	0,3906	0,1563	1,96269	1,76777	1,11803	0,24534	0,22097	0,13975
9	2,114320	0,70477	0,3333	0,1235	2,51853	1,73205	1,05409	0,27984	0,19245	0,11712
10	5,814360	1,68616	0,2900	0,1000	4,10629	1,70294	1,00000	0,41063	0,70294	0,10000

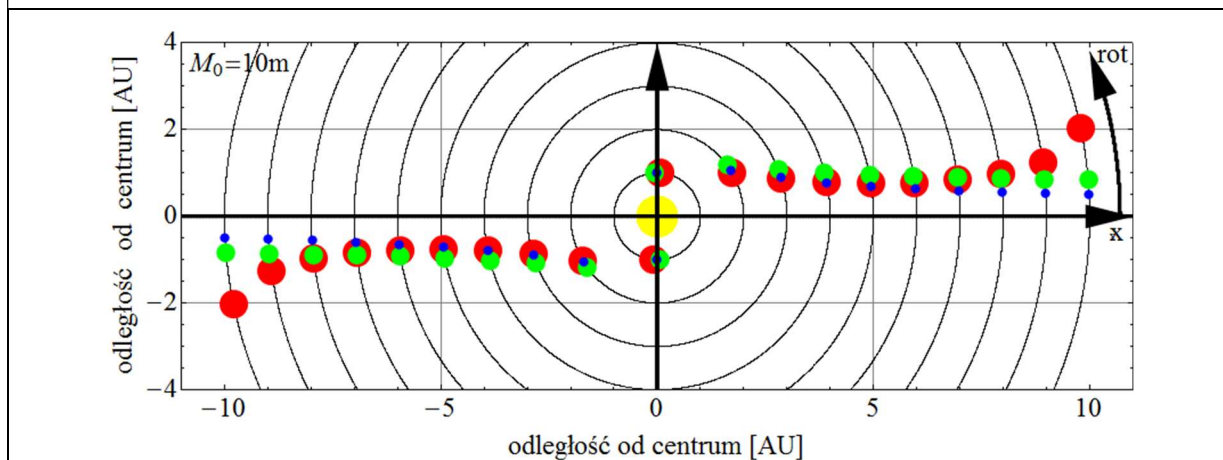

 Rys.4.5.1.5.1. Układ 21 ciał niebieskich,  $M_0=10m$ , Natężenie pola grawitacyjnego.

 Rys.4.5.1.5.2.  $M_0 = 10m$   $GR_{JK}(r)$



Rys.4.5.1.5.3. Układ 21 ciał niebieskich,  $M_0=10m$ . Krzywa rotacji układu.



Rys.4.5.1.5.4.  $M_0=10m$ . Prędkość kątowa galaktyki spiralnej

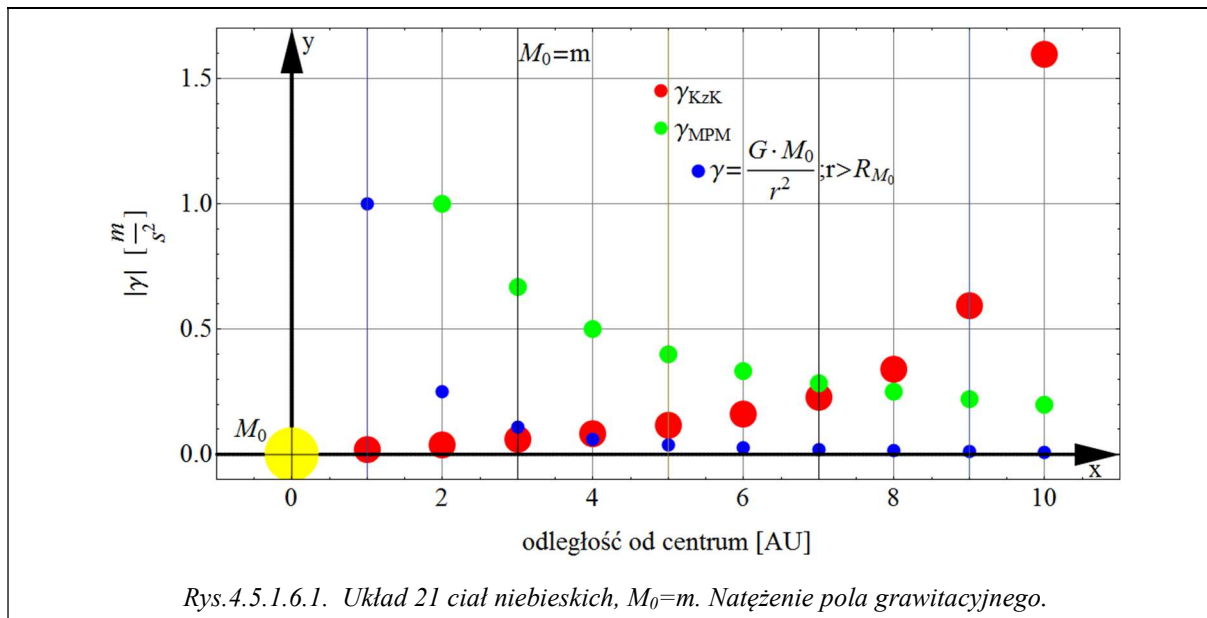


Rys.4.5.1.5.5. Układ 21 ciał niebieskich,  $M_0=10m$ ,  $m=1$ .  
 Wygląd układu po obrocie o 1/4 okresu pierwszej planety w układzie keplerowskim

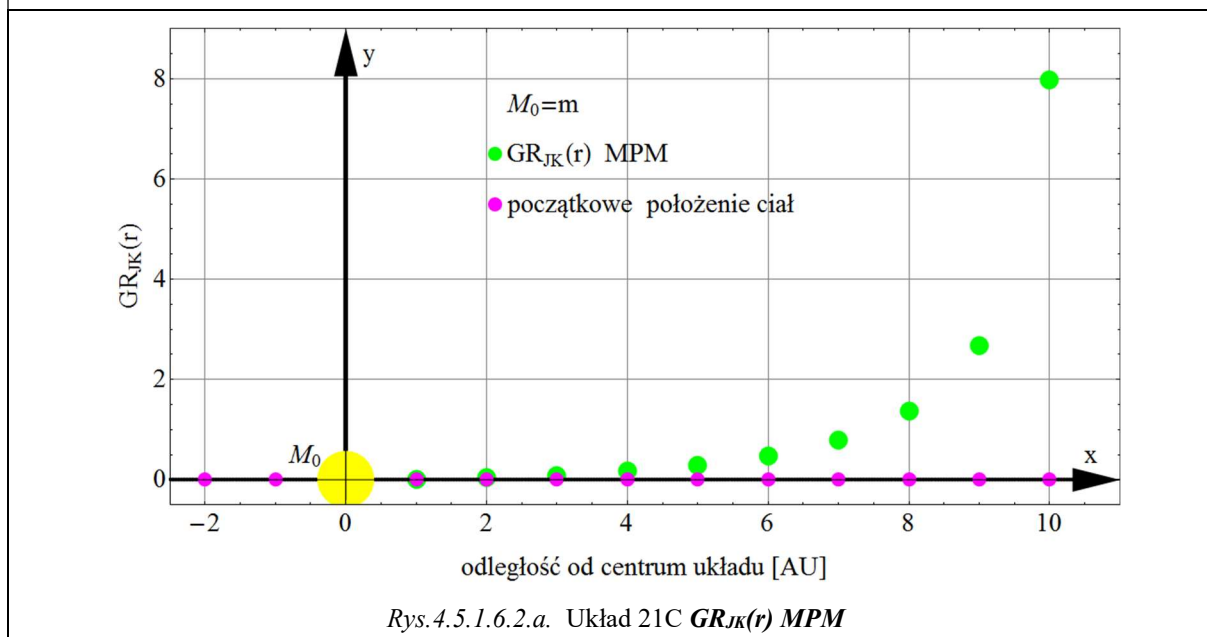
4.5.1.6. Masa gwiazdy jest równa masie planety.

Tab.4.5.1.6. Wartości NPG, LOPK planet dla  $M_0=m$  obliczonych trzema metodami.

M=m; m=1										
r	GR <sub>JK</sub> MPM	Parametr								
		Natężenie pola grawitacyjnego			Liniowa orbitalna prędkość kołowa			Prędkość kątowna		
		KzK	MPM	Kepler	KzK	MPM	Kepler	KzK	MPM	Kepler
1	0.009132	0,01826	2,00000	1,00000	0,13515	1.41421	1,00000	0,13515	1,41421	1,00000
2	0.037555	0,03755	1,00000	0,25000	0,27406	1.41421	0,70711	0,13703	0,70711	0,35355
3	0.088645	0,05910	0.66667	0,11111	0,42106	1.41421	0,57735	0,14035	0,47141	0,19245
4	0.169214	0,08460	0,50000	0,06250	0,58175	1.41421	0,50000	0,14544	0,35355	0,12500
5	0.292073	0,11683	0,40000	0,04000	0,76429	1.41421	0,44721	0,15286	0,28284	0,08944
6	0.482206	0,16074	0,33333	0,02778	0,98205	1.41421	0,40825	0,16367	0,23570	0,06804
7	0.793435	0,22670	0,28571	0,02041	1,25971	1.41421	0,37796	0,17996	0,20203	0,05399
8	1.36357	0,34089	0,25000	0,01563	1,65141	1.41421	0,35355	0,20643	0,17678	0,04419
9	2.67148	0,59366	0,22222	0,01235	2,31149	1.41421	0,33333	0,25683	0,15714	0,03704
10	7.98082	1,59616	0,20000	0,01000	3,99520	1.41421	0,31623	0,39952	0,14142	0,03162

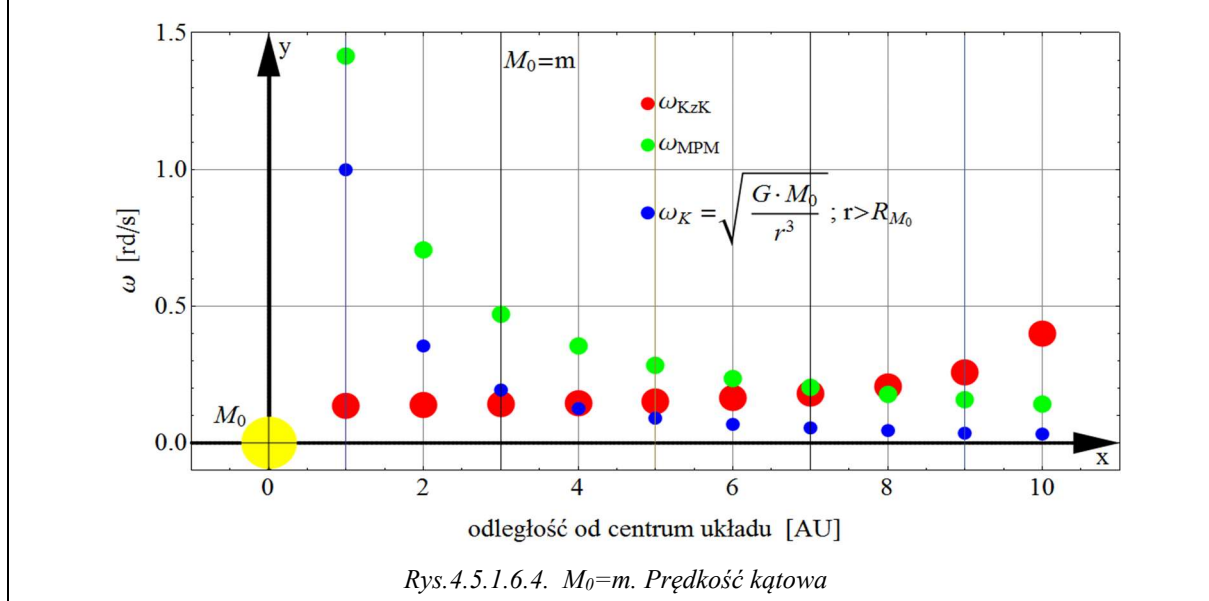
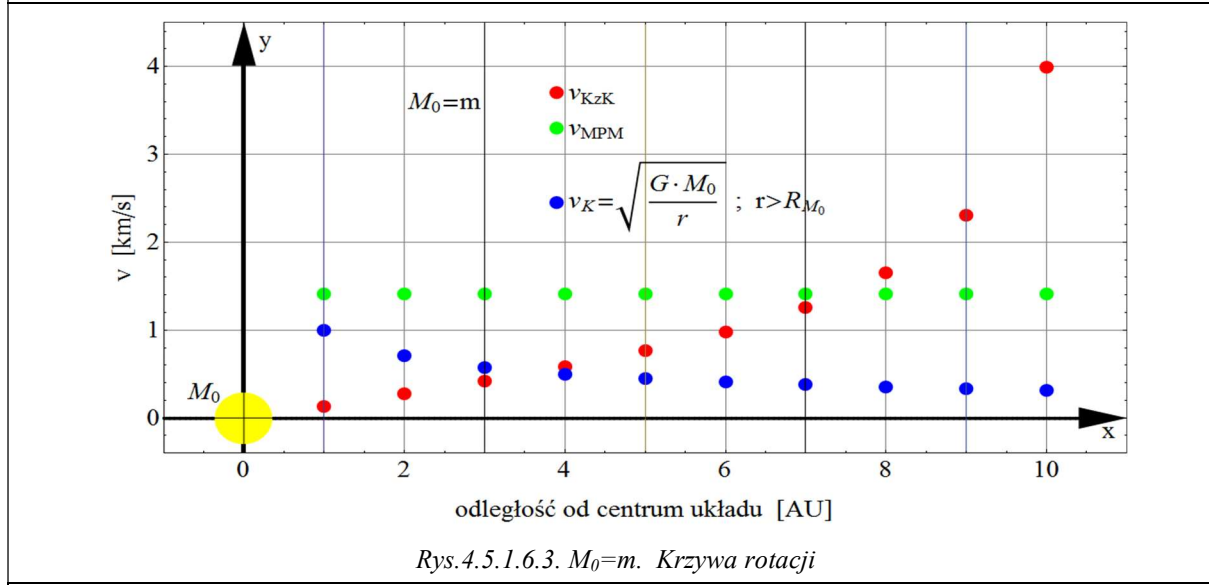
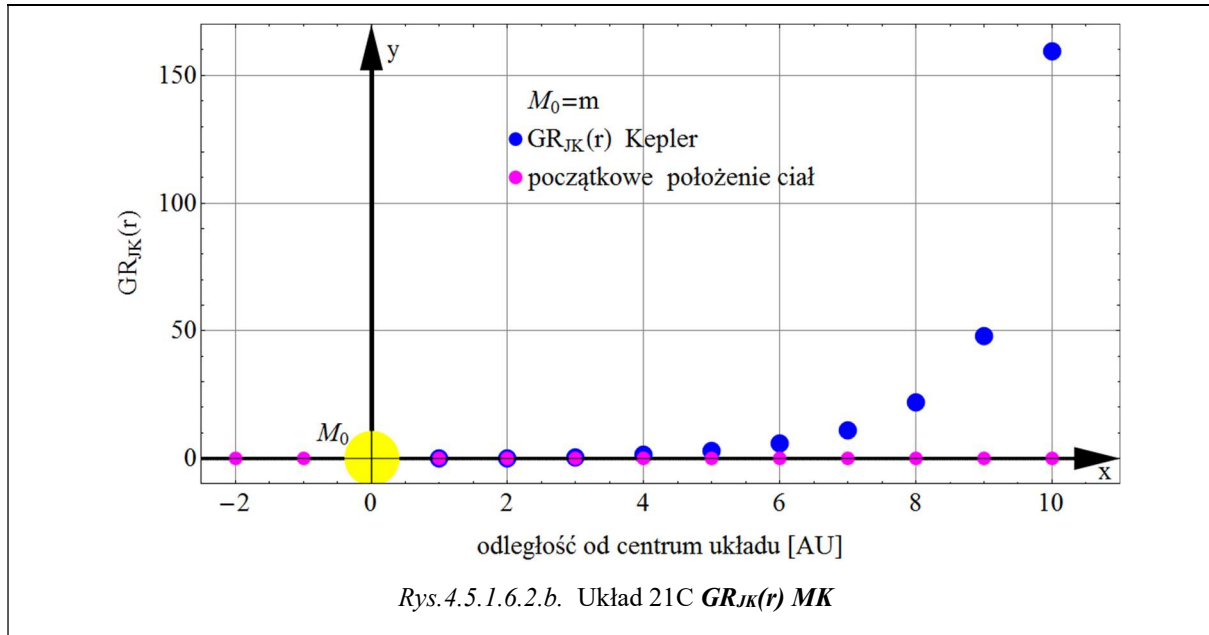


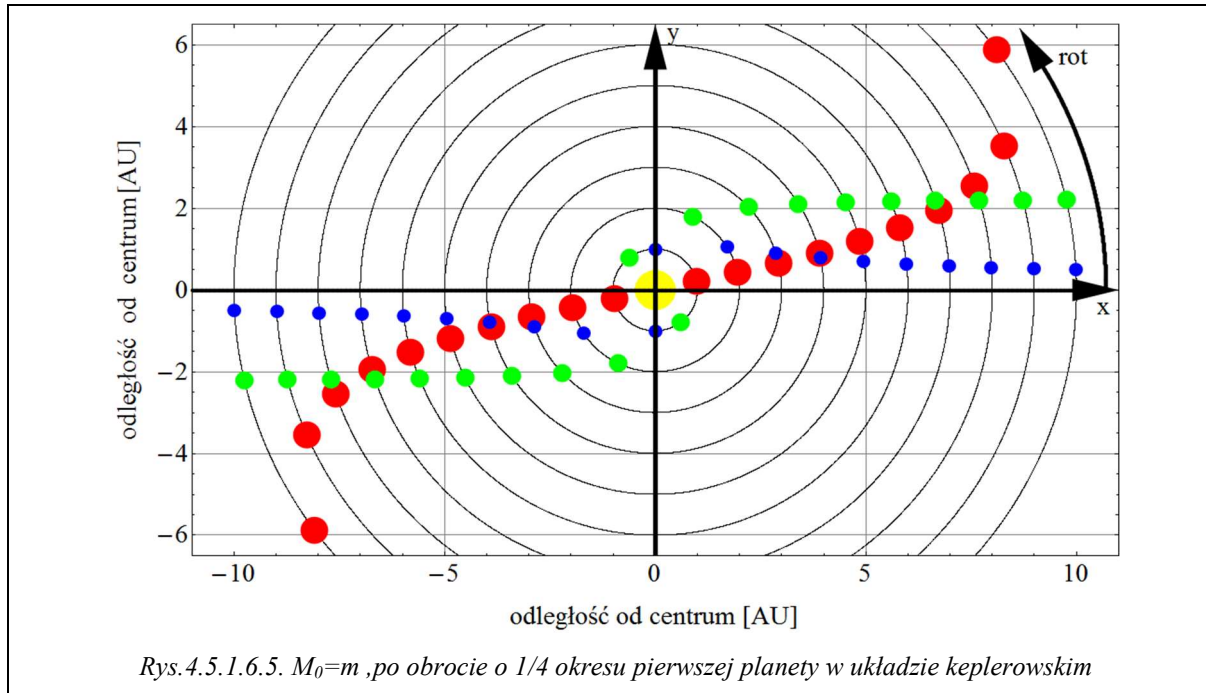
Rys.4.5.1.6.1. Układ 21 ciał niebieskich,  $M_0=m$ . Natężenie pola grawitacyjnego.



Rys.4.5.1.6.2.a. Układ 21C  $GR_{JK}(r)$  MPM







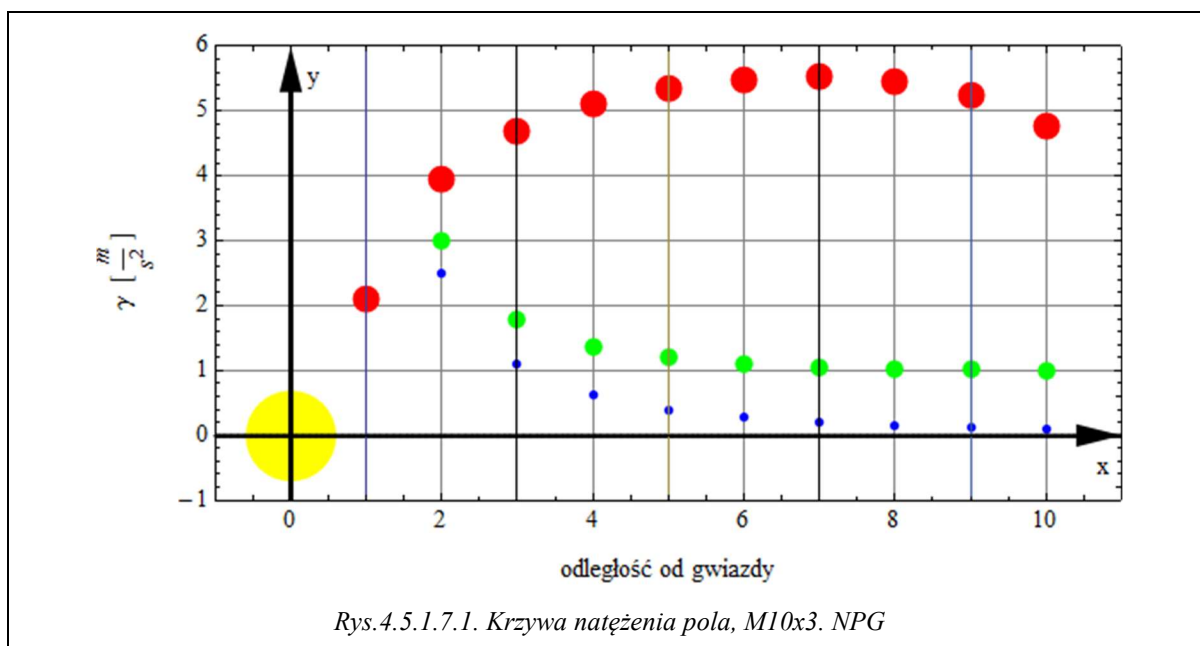
Dla masy gwiazdy  $100.000m$  i  $10.000m$  układ jest typowo keplerowski, a dla  $M_0=1m$  układ jest już typowym układem  $W$ . Krzywe rotacji są podobne do wirtualnych Układów Słonecznych opisanych we wstępie.

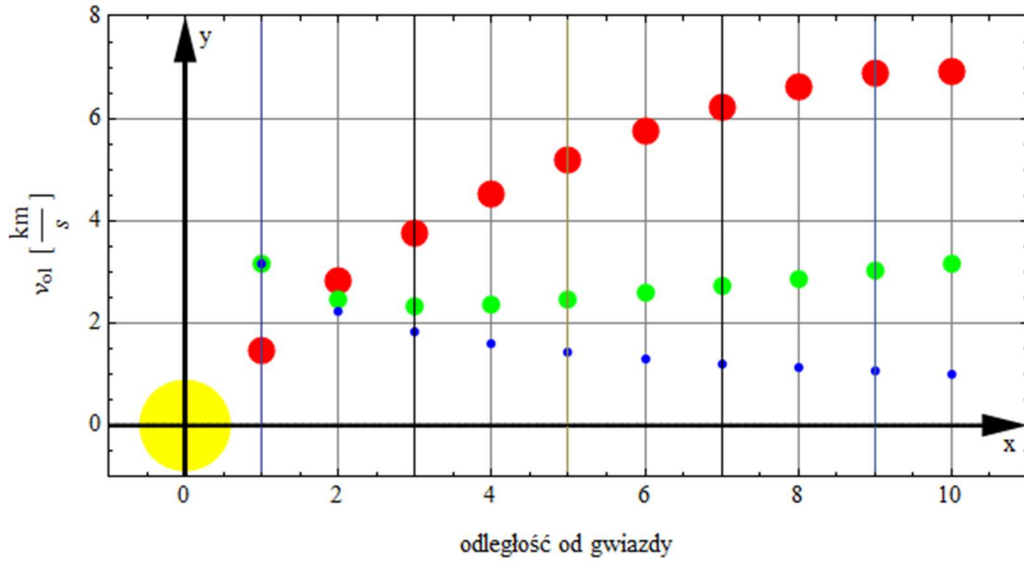
Jak widać to na Rys. 4.5.1.3.3. już od masy gwiazdy 1000 razy większej od masy planety zaznacza się mieszany układ  $J-W$ , na początku od centrum jest to typ  $J$ , a dla 10 planety jest już to typ  $W$  i tendencja ta zwiększa się wraz ze zmniejszaniem się masy gwiazdy. Dla masy gwiazdy  $100m$  typ  $J$  przechodzi w typ  $W$  już od 9 planety, a dla  $M_0=10m$  już od 6 planety.

#### 4.5.1.7. Masa gwiazdy jest równa $10m$ , a masa planet maleje w funkcji $r$

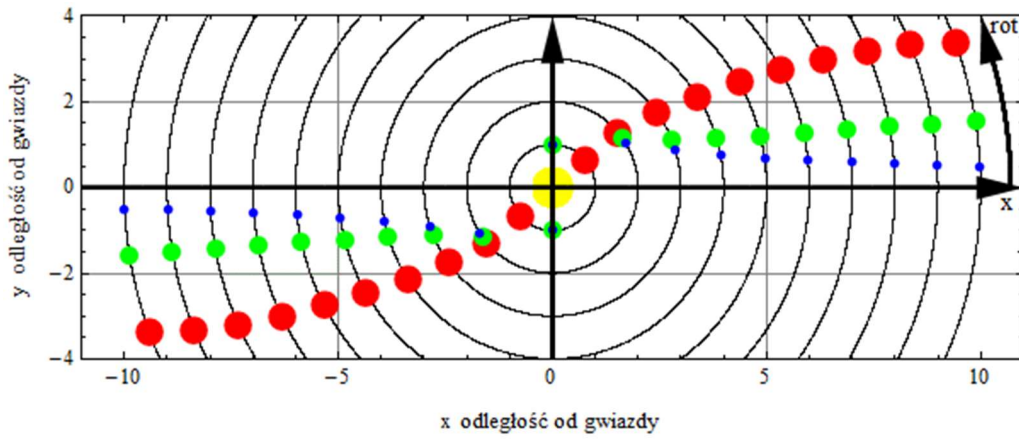
$$m=11-r; r = \{1 \div 10\}; r \in \mathbb{N};$$

Układ ten jest podobny do wirtualnego niejednorodnego Układu Słonecznego, typu  $W$  (krzywa rotacji Rys. W.1.)

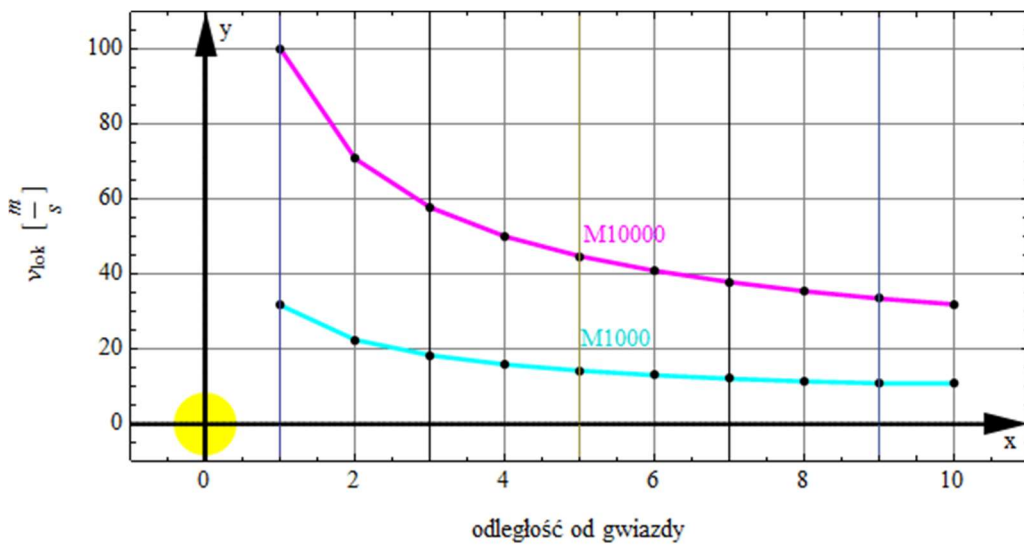




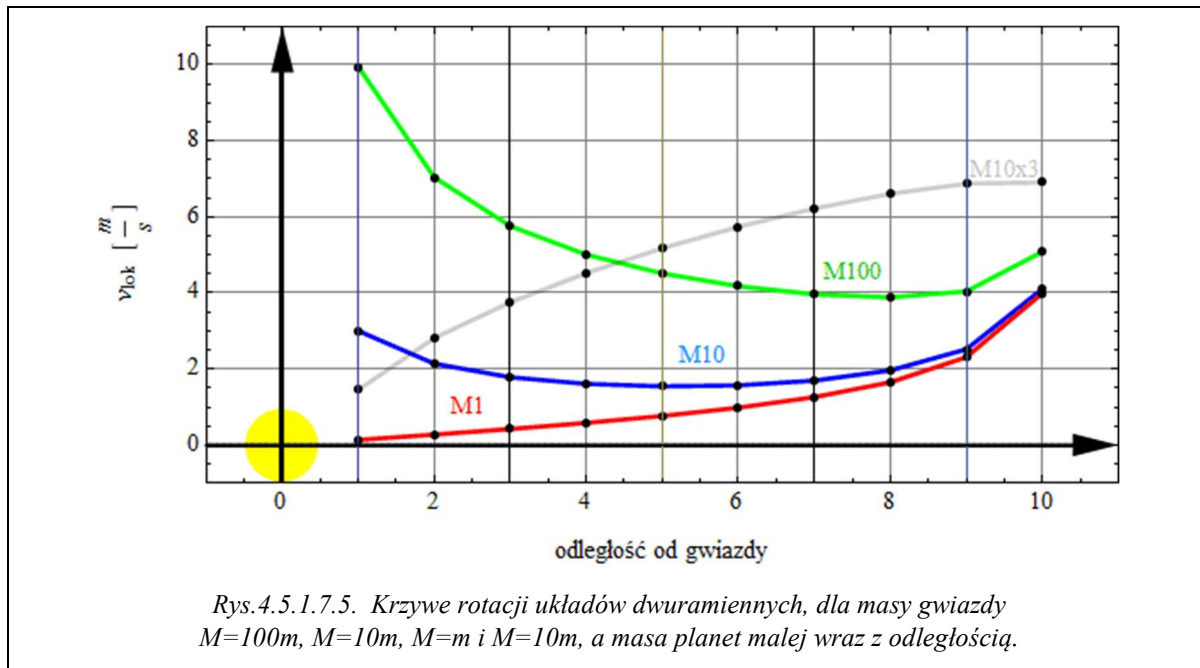
Rys.4.5.1.7.2. Układ 21 ciał niebieskich, M10x3. Krzywa rotacji.



Rys.4.5.1.6.4.3 Układ 21 ciał niebieskich, M10x3.



Rys.4.5.1.7.4. Krzywe rotacji układów dwuramiennych.  
Dla masy gwiazdy  $M=10\ 000m\ 1000m$ .



Na Rys.4.5.1.7.4. i Rys.4.5.1.7.5. pokazano wykresy krzywych rotacji dla liniowych układów ciał niebieskich związanych grawitacyjnie dla masy gwiazdy od  $10.000m$  do  $M_0 = m$  na dwóch wykresach, żeby Czytelnik mógł porównać, jak zmienia się układ wraz ze zmianą stosunku masy centralnej do masy planety. Rozbito je na dwa rysunki ze względu na skalę wielkości i też z tego powodu nie wykreślono krzywej rotacji dla  $M_0 = 100.000m$ . Na Rys.4.5.1.7.4.widać, że krzywe rotacji są keplerowskie, a na Rys.4.5.1.7.5.widać, jak przechodzą z typu  $J$  do typu  $W$ .

## 4.5.2. Foremne liniowe układy wieloramienne

### 4.5.2.1. Foremny jednorodny liniowy układ pięcioramienny

Foremne układy liniowe wieloramienne należą pod względem własności dynamicznych do grupy układów liniowych. Najprostrzym, ze względu na ilość ramion jest układ dwuramienny. Liniowy układ jednorodny jest samocentrujący, tzn. automatycznie wyznacza środek układu, przechodząc w jednorodny układ dwuramienny. Układy dwuramienne występują w galaktykach spiralnych z poprzeczką. Układy liniowe wieloramienne są to układy mające wspólny środek, ramiona wychodzą ze środka układu a ramiona są równo obrócone o stałą kąt w zależności od ilości ramion.

Kąt obrotu wynosi

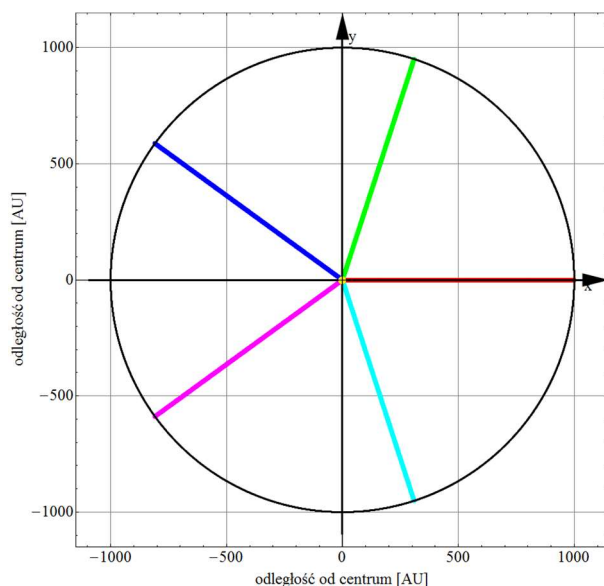
$$\phi_n = \frac{2\pi}{n}; n := \{1 \dots 6\}; n \in \mathcal{N} \quad (4.5.2.1.1)$$

gdzie –  $n$  liczba ramion.

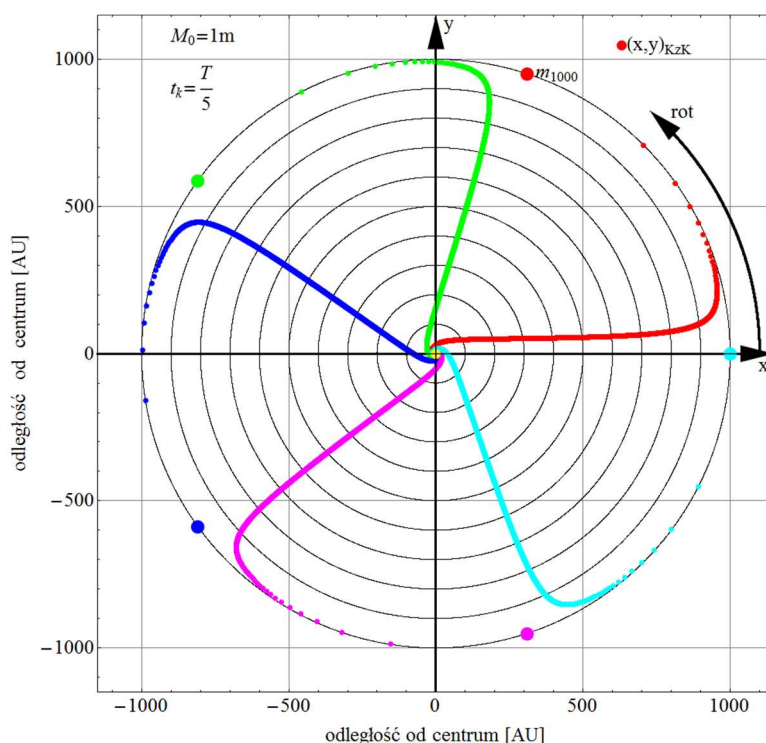
Układy liniowe wieloramienne foremne, w miarę upływu czasu, przechodzą w układy spiralne wieloramienne. Związane to jest ze zmienną prędkością kątową ciał w funkcji odległości od centrum układu. Dla układów jednorodnych prędkość kątowa rośnie, układ jest postępowy, ramiona wyginają się w kierunku obrotu, a dla układów niejednorodnych, gdzie masa maleje w miarę oddalania się od centrum, prędkość kątowa maleje, układ jest wsteczny, ramiona wyginają się przeciwnie do kierunku obrotu. Ciała układu nie poruszają się po orbitach kołowych. Więcej i szerzej na ten temat Czytelnik znajdzie, jak zwykle, w „Układy ciał niebieskich związanych grawitacyjnie” [4].



Na zakończenie pokażemy kilka wykresów krzywych rotacji układów liniowych pięcioramiennych foremnych.



Rys.4.5.2.1. Jednorodny układ pięcioramienny w chwili początkowej  $t_0$ .



Rys.4.5.2.1. Jednorodny układ pięcioramienny po obrocie o  $1/5 T$

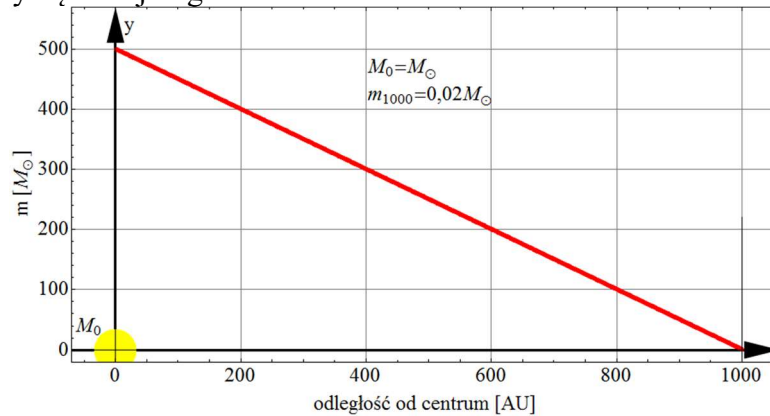
Jak widać to na wykresie układ ten jest postępowy. Widok przedstawiono w dużym powiększeniu czasowym, tzn. założono, że ciała w. tym przedziale czasu poruszają się po orbitach kołowych. W rzeczywistości układ będzie zwiększał również średnicę.

#### 4.5.2.2. Foremne, niejednorodne liniowe układy pięcioramienne

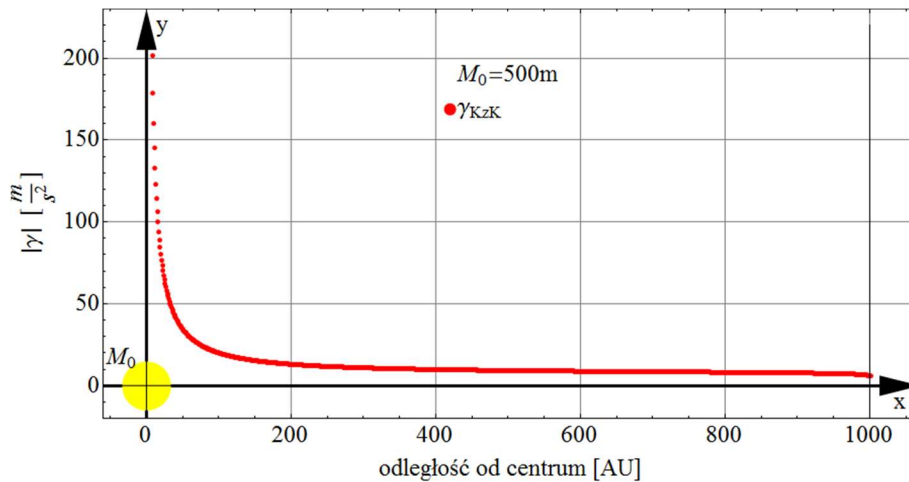
Na Rys.4.5.2.2.1 wykreślono zmianę masy w funkcji odległości od centrum. Odległość pomiędzy ciałami w każdym ramieniu jest stała w chwili początkowej. Wygląd w chwili po-

czątkowej jest taki sam jak w poprzednim przykładzie. W Każdym ramieniu jest po tysiąc ciał niebieskich, a ciało centralne  $M_0 = 500m$  znajduje się w centrum układu.

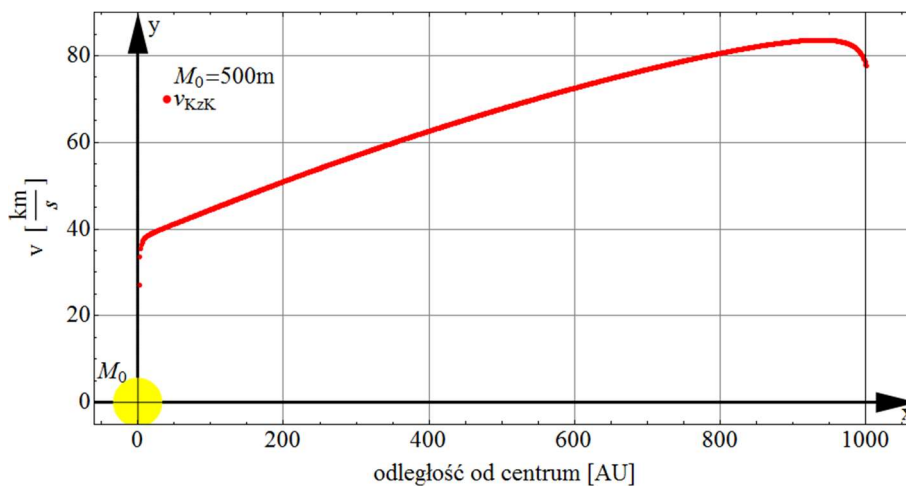
Na Rys.4.5.2.2.2. wykreślono krzywą natężenia pola grawitacyjnego układu, a na Rys.4.5.2.2.3. krzywą rotacji tegoż układu.



Rys.4.5.2.2.1 Niejednorodny układ pięcioramienny. Radialny rozkład masy w chwili początkowej.

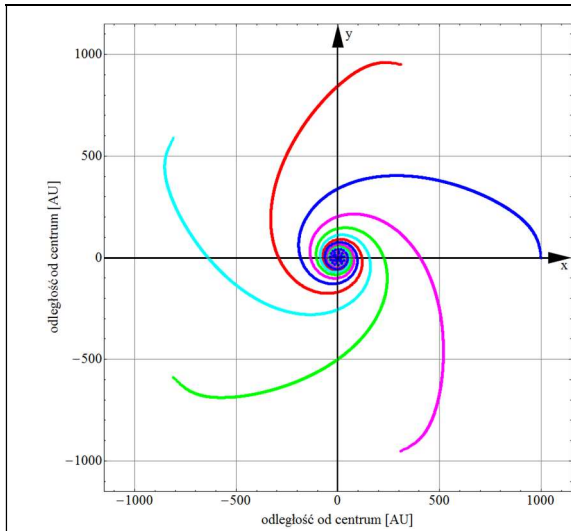


Rys.4.5.2.2.2. Niejednorodny układ pięcioramienny. Natężenie pola grawitacyjnego

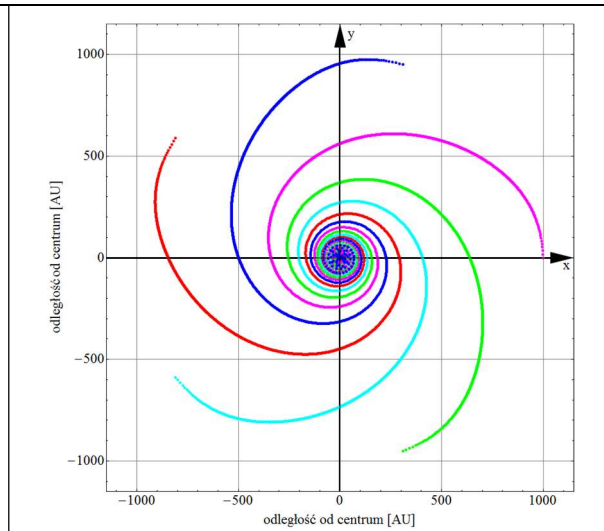


Rys.4.5.2.2.3. Niejednorodny układ pięcioramienny. Krzywa rotacji układu.

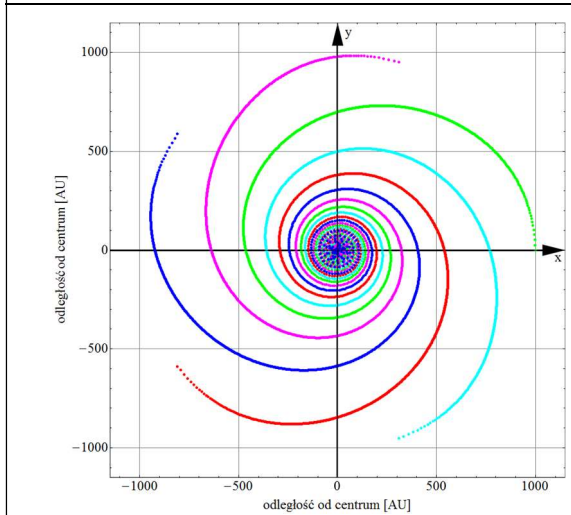
Jak widać z wykresu na Rys.4.5.2.2.3. krzywa rotacji układu nijak nie jest podobna do krzywej keplerowskiej, a zdecydowanie bliżej je do płaskich krzywych rotacji galaktyk spiralnych.



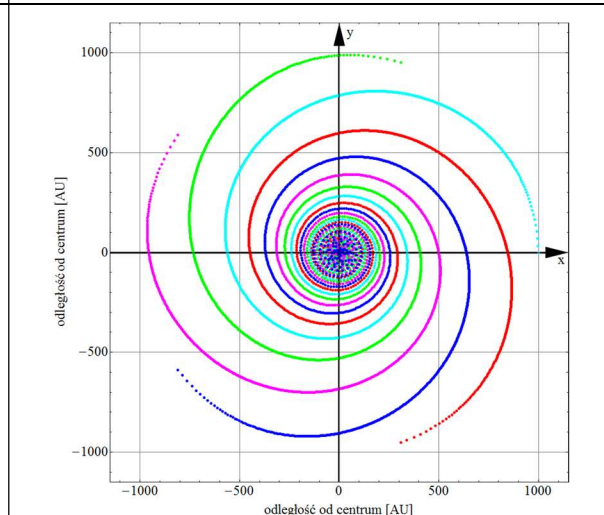
Rys. 4.5.2.2.4. Wygląd układu po obrocie o  $1/5 T$



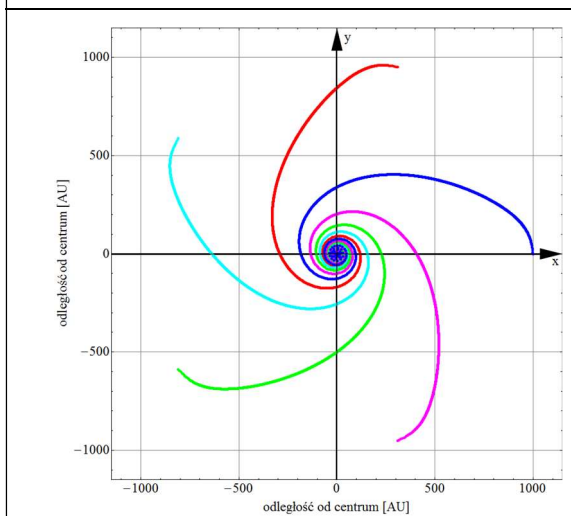
Rys. 4.5.2.2.5 Wygląd układu po obrocie o  $2/5 T$



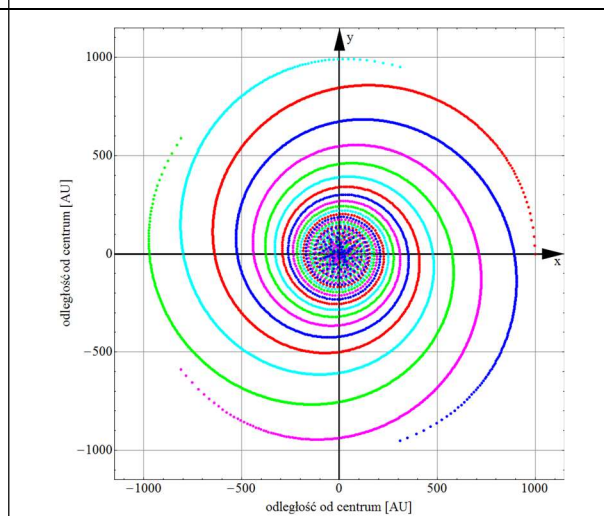
Rys. 4.5.2.2.6. Wygląd układu po obrocie o  $3/5 T$



Rys. 4.5.2.2.7. Wygląd układu po obrocie o  $4/5 T$



Rys. 4.5.2.2.4. Wygląd układu po obrocie o  $1/5 T$



Rys. 4.5.2.2.8. Wygląd układu po obrocie o  $1 T$

Porównanie wyglądu układu po obrocie o  $1/5 T$  z obrotem po  $1 T$

Na Rys.4.5.2.2.4. ÷ Rys.4.5.2.2.8. pokazano wygląd układu w dużych powiększeniach czasowych od  $t=1/5T$  do jednego pełnego obrotu, a na Rys.4.5.2.2.9. porównano wygląd układu po obrocie o  $1/5T$  z wyglądem po jednym pełnym obrocie. Jak widać z wykresów, odległość pomiędzy ciałami, zmienia się.

## 5. Podsumowanie końcowe.

W publikacji niniejszej zadano na wstępie pytania i obiecano, że Czytelnik znajdzie odpowiedzi na wszystkie te pytania w tej książce.

Teraz nadszedł czas odpowiedzi na te pytania

### CZYM MOŻE BYĆ CIEMNA MATERIA?

1. jakąś nieznaną formą materii – **WIMP-y?** (*ang. Weakly Interacting Massive Particles, Słabo Oddziałujące Masywne Cząstki*),

***CIEMNA MATERIA nie może być żadną formą materii, WIMP'ów lub innych cząstek supersymetrycznych z dwóch powodów:***

- *gdyby istniała fizycznie ciemna materia i byłaby składnikiem układu ciał niebieskich związanych grawitacyjnie to generowałaby również grawitacyjną urojoną ciemną materię, której byłoby kilkakrotnie więcej niż barionowej grawitacyjnej masy urojonej i znowuż potrzebna byłaby nowa ciemna materia w ilości kilkakrotnie większej niż suma masy barionowej i pierwszej ciemnej materii itd. itd. Dlatego też nie może być fizyczną materią.*
- *Wiemy z obserwacji, że najwięcej nowych gwiazd powstaje w galaktykach spiralnych, a w galaktykach eliptycznych powstaje ich w niewielkiej ilości. Dodanie ciemnej materii do galaktyki spiralnej powoduje sferyzację galaktyki, czyli znaczne zmniejszenie jej aktywności gwiazdotwórczej.*

Czy pod pojęciem *ciemna materia* może kryje się:

2. fikcyjna materia, wybieg matematyczny, coś w rodzaju epicykli, ekwantów i deferentów w teorii geocentrycznej Ptolemeusza, żeby wyjaśnić wsteczny ruch Marsa i innych planet zewnętrznych Układu Słonecznego?,

***CIEMNĄ MATERIE + SUPER MASYWNE CZARNE DZIURY można potraktować jako fikcyjną materię, odpowiednik grawitacyjnej masy urojonej, przedstawionej w tej publikacji, która „znajduje” się w centrum układu, w przeciwieństwie do hipotetycznej CIEMNEJ MATERII, umieszczonej w sferycznym halo galaktyk, jako fikcyjną materię, wybieg matematyczny, tak jak w teorii geocentrycznej Ptolemeusza, do wyjaśnienia płaskich krzywych rotacji galaktyk spiralnych.***

Czy może problem *ciemnej materii* wynika z:

3. błędnego założenia typu krzywych rotacji galaktyk?

***Galaktyki są układami ciał niebieskich typu W, a więc krzywe rotacji galaktyk nie mogą być krzywymi keplerowskimi, jak w Układzie Słonecznym.***

4. błędnej metody obliczania masy galaktyk?  $\equiv$  (czy masa grawitacyjna (obliczona metodą grawitacyjną) powinna być równa masie świecącej?)

***Metoda punktu materialnego stosowana do obliczania parametrów dynamicznych niesferycznych układów ciał niebieskich związanych grawitacyjnie, a szczególnie do obliczania masy tych układów jest błędna i prowadzi do znacznego zawyżania masy układów. Dla dużych galaktyk, szczególnie spiralnych, jest to wartość ponad siedem***



*razy większa od masy całej galaktyki. Ilość masy barionowej w galaktyce jest wystarczająca do wytłumaczeni płaskich krzywych rotacji galaktyk spiralnych.*

5. błędnego prawa powszechnego ciężenia Isaaca Newtona - teorie **MOND?** (*Modified Newtonian Dynamics, Modyfikacja Dynamiki Newtona*).

*Prawo powszechnego ciężenia Newtona doskonale się sprawdza do obliczania dynamiki układów ciał niebieskich związanych grawitacyjnie dla każdego typu, pod warunkiem, że będzie prawidłowo stosowane, tzn. metoda punktu materialnego nie będzie stosowana do układów niesferycznych. Nie ma potrzeby modyfikacji prawa grawitacji Isaaca Newtona. Teoria MOND zaproponowana przez Mordechaja Milgroma jest błędna, gdyż nie uwzględnia właściwości funkcji  $\sim 1/r$ . Milgrom dopasował funkcję tylko co do wartości, a nie wziął pod uwagę innych własności, takich jak np. kształt orbit. Ciała nie poruszają się po keplerowskich orbitach eliptycznych zamkniętych, lecz zbliżonych do orbit eliptycznych, ale otwartych i ciało centralne nie znajduje w ognisku elipsy, ale w środku tej otwartej elipsopodobnej orbity. Następuje obrót orbity.*

6. *A może ciemna materia i ciemna energia nie istnieją?, jak sugeruje Adam Riees,*

*CIEMNA MATERIA nie istnieje, zastąpiła ją grawitacyjna masa urojona. Te „drobne nieścisłości”, spowodowane przez niewłaściwe stosowanie Newtonowskiego prawa przyciągania, doprowadziły do kryzysu w fizyce i poniesienia ogromnych kosztów na poszukiwanie cząstek ciemnej materii, WIMP'ów.*

We wstępie podaliśmy przykład, jak rozumieć grawitacyjną masę urojoną na przykładzie latarni ulicznych. Teraz przedstawimy konkretny przykład liczbowy. Wyobraźmy sobie, że mamy drogę o długości 1000 m, i chcemy ją oświetlić tak, żeby na końcu drogi jasność była, taka jak od żarówki  $P=100W$ . Przy założeniu, że jasność maleje z odległością, jak  $\sim 1/r^2$

$$P(r) = \frac{P_{max}}{r^2}; r \in N, r := 1 \dots 10,$$

to żeby na końcu drogi otrzymać żadaną jasność, to musimy postawić na początku drogi, latarnię o mocy  $P_{max} = 10kW$ . Ale można też zrobić inaczej, a mianowicie postawić 10 latarni co 100 m, każda o mocy 100W i wtedy całkowita moc potrzebna do oświetlenia drogi wynosi tylko 1000 W. Co prawda koszt postawienia 10 latarni jest większy, ale koszt eksploatacji jest mniejszy. Teraz policzmy w drugą stronę. Na końcu ulicy mamy oświetlenie o mocy 100 W. Zadajmy sobie pytanie „Jaka musi być moc latarni na początku drogi, żeby na końcu drogi moc świetlna była 100 W?” Znając zależność mocy świetlnej od odległości, łatwo policzymy, że moc powinna wynosić 10 kW, a wiemy, że moc zainstalowana wynosi tylko 1 kW. Stąd łatwo policzymy, że nadwyżka mocy pozornej nad mocą rzeczywistą wynosi aż 9 kW. I to jest właśnie moc urojona, a moc 10 kW jest mocą pozorną. Mówiąc łopatologicznie, moc urojoną można porównać do zaoszczędzonych pieniędzy, które wydalibyśmy za energię na oświetlenie całej ulicy jedną latarnią o mocy 10 kW.

Podobnie jest z układami ciał niebieskich związanych grawitacyjnie, z tą różnicą, że tutaj mamy do czynienia z masą i natężeniem pola grawitacyjnego.

Na koniec podsumujmy, jaka jest różnica pomiędzy *grawitacyjną masą urojoną*, a *ciemną materią i supermasywnymi czarnymi dziurami*:

- *grawitacyjnej masy urojonej* fizycznie nie ma,
- ilość *grawitacyjnej masy urojonej* jest równa masie *ciemnej materii* (zgodnej z modelem  $\Lambda$ CDM), a nadwyżkę masy, powyżej ilości przypadającej na *ciemną materię*, obdarowuje się *supermasywne czarne dziury*,

- **grawitacyjna masa urojona** zawsze występuje z masą barionową, jeżeli masy barionowej ubywa to i **grawitacyjnej masy urojonej** też ubywa. Nie ma masy barionowej to i nie ma **grawitacyjnej masy urojonej**. **Grawitacyjnej masy urojonej** nie tworzą żadne nieznanne dotąd cząsteczki, tworzy ją tylko materia barionowa, a w niniejszej publikacji brane jest pod uwagę tylko oddziaływanie grawitacyjne,
- skoro **ciemna materia** oddziałuje z materią barionową tylko grawitacyjnie to powinna również tworzyć mieszane układy ciał niebieskich związanych grawitacyjnie, różnego typu, np. ze sklejonych grawitacyjnie **ciemno-barionowych cząstek**, każda o masie 6,469 masy cząstki barionowej, to masa takiego **ciemno-barionowego** jednorodnego układu kołowego o promieniu 40 000 [JA] byłaby 6,469 razy większa od masy układu barionowego, a do tego należy jeszcze dodać masę **supermasywnych czarnych dziur** i dalej obliczamy jak z przykładu ze str. 59, no i trzeba znowu szukać nowej **super ciemnej materii**, itd. itd. bez końca,
- **ciemna materia** tworzy sferyczne, prawie jednorodne halo wokół galaktyki to prawie nie powinna wpływać na ruch ciał wewnątrz galaktyki,
- galaktyki składają się z setek miliardów gwiazd, czyli ciał świecących, a wiemy, że gwiazdy tracą masę przez promieniowanie elektromagnetyczne, Słońce traci ok. 4 mln ton masy na sekundę. Czy **ciemnej materii** też ubywa, tak jak to jest w przypadku grawitacyjnej masy urojonej?

Na str. 24 i 25 podano cytaty z książki

Fraknoi Andrew, Morrison David, Wolff Sidney C.: „Astronomy”, OpenStax Polska 2016, na str. 29 cytaty z książki Ling Samuel J., Sanny Jeff, Moebis William: „Fizyka dla szkół wyższych” T.1. OpenStax Polska 2018, a na stronie 33 pokazano kadry z filmu „Zagadka ciemnej energii” z udziałem Very Rubin, które przytoczę jeszcze raz:

[3] Fraknoi Andrew, Morrison David, Wolff Sidney C.: „Astronomy”,

**Str. 24** „Możemy zrozumieć, w jaki sposób astronomowie wykryli tę niewidzialną materię, pamiętając że według trzeciego prawa Keplera, obiekty krążące na dużych odległościach od masywnego obiektu będą poruszać się wolniej niż obiekty, które są bliżej tej centralnej masy. Na przykład w przypadku Układu Słonecznego planety zewnętrzne poruszają się wolniej niż planety blisko Słońca. Istnieje kilka obiektów, w tym gromady kuliste i kilka pobliskich małych galaktyk satelitarnych, które leżą daleko na zewnątrz świetlistej granicy Drogi Mlecznej. Gdyby większość masy naszej Galaktyki była skoncentrowana w obszarze świecenia, wtedy te bardzo odległe obiekty powinny poruszać się po swoich galaktycznych orbitach z mniejszymi prędkościami niż, na przykład Słońce. Okazuje się jednak, że nieliczne obiekty widoczne w dużych odległościach od świecącej granicy Drogi Mlecznej Galaktyki nie poruszają się wolniej niż Słońce. Istnieje kilka gromad kulistych i gwiazd RR Lyrae pomiędzy 30 000 i 150 000 lat świetlnych od centrum Galaktyki, a ich prędkości orbitalne są nawet większe niż Słońca.

**Str. 25** Co oznaczają te wyższe prędkości? Trzecie prawo Keplera mówi nam, jak szybko obiekty muszą krążyć wokół źródła grawitacji, aby nie spaść (ponieważ poruszają się zbyt wolno) ani uciec (ponieważ poruszają się zbyt szybko). Gdyby Galaktyka miała tylko masę obliczoną przez Keplera, to szybkie obiekty zewnętrzne powinny dawno temu wyrwać się z uścisku Drogi Mlecznej. Fakt, że tego nie zrobiły, oznacza, że nasza Galaktyka musi mieć większą grawitację, niż może dostarczyć świecąca materia – w rzeczywistości znacznie większą grawitację. Duża prędkość tych zewnętrznych obiektów mówi nam, że źródło tej dodatkowej grawitacji musi rozciągać się na zewnątrz od środka daleko poza orbitę Słońca. Gdyby grawitacja była dostarczana przez gwiazdy lub coś innego, co emituje promieniowanie, już dawno powinniśmy zauważyć ten dodatkowy materiał zewnętrzny. Jesteśmy więc zmuszeni do niechętnego wniosku, że materia ta jest niewidoczna i poza siłą grawitacji zniknęła całkowicie niewykryta.

Badania ruchów najbardziej odległych gromad kulistych i małych galaktyk krążących wokół naszej planety pokazują, że całkowita masa Galaktyki wynosi co najmniej  $2 \times 10^{12} M_{\text{Sun}}$ , czyli około dwudziestokrotnie więcej niż ilość świecącej materii. Co więcej, ciemna materia (jak

*astronomowie nazywają niewidzialną materię) rozciąga się na odległość co najmniej 200 000 lat świetlnych od centrum Galaktyki. Obserwacje wskazują, że halo ciemnej materii jest prawie, ale nie całkiem kuliste.”[3, s.921].*

[6] Ling Samuel J., Sanny Jeff, Moebis William: *Fizyka dla szkół wyższych T.1,*

❖ "Ciemna materia [6 s.691]

*Str. 29 "Gwiazdy krążące wokół samego centrum naszej galaktyki dostarczają silnych dowodów na to, że znajduje się tam czarna dziura, ale orbity gwiazd oddalonych od jej środka sugerują występowanie również innego, intrygującego zjawiska, obserwowanego pośrednio. Przypomnijmy sobie z podrozdziału Grawitacja przy powierzchni Ziemi, że w celu obliczenia siły grawitacji, wywieranej przez ciało sferycznie symetryczne na inne masy, przyjmujemy, iż cała jego masa znajduje się w centrum takiego ciała. Podobnie możemy potraktować całkowitą masę, która znajduje się wewnątrz obszaru ograniczonego orbitą dowolnej gwiazdy w naszej galaktyce. Zakładamy po prostu, że cała ta masa znajduje się w centrum dysku Drogi Mlecznej. Możemy oszacować tę masę sumując masy wszystkich widocznych gwiazd w tym obszarze, a następnie dodając do tego wyniku masę czarnej dziury w centrum.*

*Gdy to zrobimy, zauważymy, że prędkość orbitalna gwiazd jest zdecydowanie za duża, aby była spowodowana taką ilością materii. ... Najwyraźniej dużej części materii nie widzimy. Szacuje się, że materii, której nie widać, jest pięciokrotnie więcej niż tej, którą możemy obserwować. Nazwano ją ciemną materią (ang. dark matter). Ponadto profil prędkości nie odzwierciedla oczekiwanego rozkładu widocznych gwiazd. Nie tylko szacunkowa masa całkowita materii jest niezgodna z danymi, ale jej oczekiwany rozkład także jest niezgodny z obserwacją. Zjawisko to nie dotyczy jedynie naszej galaktyki, ale wydaje się być cechą wszystkich galaktyk."*

[19] „Zagadka ciemnej energii” z udziałem Very Rubin,

KADR 06:22

*V.R. "To samo dotyczy galaktyk. Z tą różnicą, że w galaktyce spiralnej gwiazdy na orbicie utrzymuje położona w jej centrum czarna dziura będąca źródłem grawitacji."*

i KADR 07:10

*V.R. "To była niespodzianka. Należało ją wyjaśnić. W takiej sytuacji gwiazdy powinny odlecieć w przestrzeń kosmiczną, ale tego nie robiły. Wykresy wszystkich galaktyk spiralnych były płaskie. Jedyne wyjaśnienie brzmiało - musi istnieć coś, co wytwarza dodatkową grawitację, zapewnia galaktykom spistość i spłaszcza krzywe prędkości. To niewidzialne coś otrzymało nazwę ciemnej materii."*

Z przytoczonych powtórnie cytatów wynika, że astronomowie uważają, że za płaskie krzywe rotacji galaktyk spiralnych odpowiada znacznie większa masa galaktyk niż tylko ta widoczna materia świecąca. 26,8% tej masy przypisuje się *ciemnej materii*, a pozostałą nadwyżkę masy przypisuje się *supermasywnym czarnym dziurom* umieszczanym w centrach galaktyk, szczególnie spiralnych.

Na Rys.4.3.6. wykreślono *krzywą rotacji układu kołowego*, zarówno wewnątrz jak i na zewnątrz układu. Z wykresu widać, że krzywa rotacji nie jest krzywą keplerowską, tak wewnątrz jak i na zewnątrz układu, a na Rys. 4.3.7. wykreślono *grawitacyjny równoważnik jednorodnej kuli dla jednorodnego układu kołowego*  $GR_{JK}(r)$ , z którego widać, że od  $r > 1900[JA]$   $GR_{JK}(r) > 1$ , a to oznacza, że *grawitacyjna masa pozorna* jest większa od *masy rzeczywistej* i osiąga maksimum na granicy układu, ok. 5,5 i dalej maleje do wartości ok. 1,1 dla  $r = 5000$ , a to oznacza, że *grawitacyjna masa pozorna* jest wciąż większa od *masy rzeczywistej* daleko od granicy układu. Z wykresu też widać, że *grawitacyjna masa pozorna*, dla każdego układu ciał związanych grawitacyjnie, zależy nie tylko od wielkości, kształtu i masy układu, ale również od punktu, w którym obliczamy *grawitacyjną masę pozorną*.

Na zakończenie przytoczę jeszcze przykład jednorodnego układu liniowego, 2-ramiennego symetrycznego o długości jednego ramienia 1 mln[JA] i liczbie jednorodnych sferycznych ciał 2 000 001 o masie  $M_{\odot}$  każde, jedno ciało  $M_{\odot}$  w centrum i po 1 mln w każdym ramieniu. Rzeczywiste natężenie pola grawitacyjnego dla ostatniego ciała ramienia wynosi

$\gamma_{2RKZK}(R_0) = 1,64493357$ , a natężenie pola grawitacyjnego obliczonego metodą *MPM* wynosi tylko  $\gamma_{2RMPM}(R_0) = 2,000001 \cdot 10^{-6}$ , stąd grawitacyjny równoważnik jednorodnej kuli wynosi

$$GR_{JK2R}(R_0) = \frac{\gamma_{2RKZK}(R_0)}{\gamma_{2RMPM}(R_0)} = \frac{1,64493357}{2,000001 \cdot 10^{-6}} = 822\,466,3722$$

$$M_{0P} = GR_{JK2R}(R_0) \cdot 2\,000\,001 M_{\odot} = 1,64493357 \cdot 10^{12} M_{\odot}$$

Obliczenie grawitacyjnej masy urojonej i podzielenie jej pomiędzy *ciemną materię* i *supermasywne czarne dziury* pozostawiam Czytelnikowi.

Na tym można zakończyć rozważania na temat problemu *ciemnej materii, supermasywnych czarnych dziur i teorii MOND*.

Autor przedstawił w tej publikacji wystarczającą ilość materiału pisanego, graficznego i zdjęciowego opisującego metody obliczania masy galaktyk i przewidywania krzywych rotacji galaktyk, szczególnie spiralnych (przez astronomów, astrofizyków, fizyków) i przedstawił wyniki własnych obliczeń dynamiki układów ciał niebieskich związanych grawitacyjnie, które przedstawił graficznie, a wyniki obliczeń małych układów przedstawił również w tabelkach, żeby Czytelnik mógł sam sprawdzić poprawność obliczeń.

**Wyciągnięcie wniosków z metod obliczania dynamiki układów ciał niebieskich związanych grawitacyjnie, przedstawionych przez autora i porównania ich z metodami stosowanymi przez astrofizyków pozostawiam Czytelnikowi.**

W pierwotnym założeniu było opisanie wielu typów i klas układów ciał niebieskich związanych grawitacyjnie, o różnych kształtach, wielkości geometrycznej, liczbie ciał niebieskich, rozkładzie masy itd. co znacznie zwiększyłoby objętość niniejszej pracy, a tym samym problem *ciemnej materii* utonąłby w nadmiarze danych. Celem niniejszej pracy jest ostateczne rozwiązanie *problemu ciemnej materii*, dlatego też autor postanowił skupić się tylko na rozwiązaniu problemu *ciemnej materii*, podając tylko podstawowe typy układów ciał niebieskich związanych grawitacyjnie, tj. sferyczne, płaskie (kołowe) i liniowe, a układy mieszane przedstawić w oddzielnej, dużo szerszej pracy: „*Układy ciał niebieskich związanych grawitacyjnie*” poświęconej tylko układom ciał niebieskich związanych grawitacyjnie, oczywiście bez udziału *ciemnej materii* i jakiegokolwiek teorii *MOND*.

Znajdzie tam Czytelnik opis dynamiki galaktyk spiralnych różnego typu: 1-6 ramiennych, z poprzeczką i bez poprzeczki, ze grubieniem centralnym i bez zgrubienia, dyskowych, pierścieniowych, oraz wiele innych, a także metody obliczania rzeczywistej masy galaktyk różnego typu na podstawie ich krzywych rotacji.

Opisana będzie szczegółowo dynamika układów typu *D* i podana będzie naturalna przyczyna obrotu linii absyd orbit eliptycznych, potocznie nazywanych obrotem perycentrum lub apocentrum orbity (bardziej znana nazwa to obrót peryhelium orbity eliptycznej dla Układu Słonecznego, szczególnie dla Merkurego), bez wprowadzania jakichkolwiek poprawek do wzoru Isaaca Newtona na siłę oddziaływania grawitacyjnego pomiędzy ciałami, tak jak to zrobił Albert Einstein w swojej Ogólnej Teorii Względności.



**WYKAZ ŹRÓDEŁ.**

- [1] Ananthaswamy Anil: *Tajemnice Wszechświata*, Prószyński i S-ka 2012.
- [2] Brooks Michael: *13 rzeczy, które nie mają sensu*, Wydawnictwo Literackie 2011.
- [3] Fraknoi Andrew, Morrison David, Wolff Sidney C.: *Astronomy*, OpenStax 2016.  
<https://openstax.org/details/books/astronomy>
- [4] Góralski P. ; *Układy ciał niebieskich związanych grawitacyjnie*, Warszawa 2023 (zapowiedź)
- [5] Halliday David., Resnick Robert., Walker Jearl.: *Podstawy fizyki T.5*, Warszawa 2005 PWN.
- [6] Ling Samuel J., Sanny Jeff, Moebs William: *Fizyka dla szkół wyższych T.1*. OpenStax Polska 2018. <https://openstax.org/details/books/fizyka-dla-szkol-wyzszych-polska>
- [7] Perkins Donald H., *Introduction to High Energy Physics, 4th Edition*, Cambridge University Press 2000, Reprinted 2001.
- [8] Perkins Donald H., *Podstawy fizyki wysokich energii, Wyd. 2*. Warszawa PWN 2004
- [9] Smolin Lee. *Kłopoty z fizyką. Powstanie i rozkwit teorii strun, upadek nauki i co dalej*, Warszawa 2008 Prószyński i S-ka.
- [10] Walker Jearl, Halliday David, Resnick Robert: *Fundamentals of physics*, Cleveland State University Wiley 2014

**INTERNET**

- [11] Bratek Łukasz, Jałocha Joanna, Kutschera Marek: On the axisymmetric thin disk model of flattened galaxies, arXiv 0809.3135v1 [astro-ph.] 18 Sep 2008.
- [12] Krelowski Jacek, Strobel Andrzej, Galazutdinov Gazinur, Faig, Musaev, Bondar Arkadii: Ciemna Materia –prawda czy mit?, CA UMK, Toruń  
[www.home.umk.pl > ~jacek > ciennamateria > wyk13](http://www.home.umk.pl/~jacek/ciennamateria/wyk13).
- [13] Krzywa rotacji galaktyki spiralnej WIKIPEDIA
- [14] Skindzier Piotr: Badanie dynamiki galaktyk spiralnych- halo ciemnej materii vs grawitacja dysku. Rozprawa doktorska Uniwersytet Jagielloński 2014.

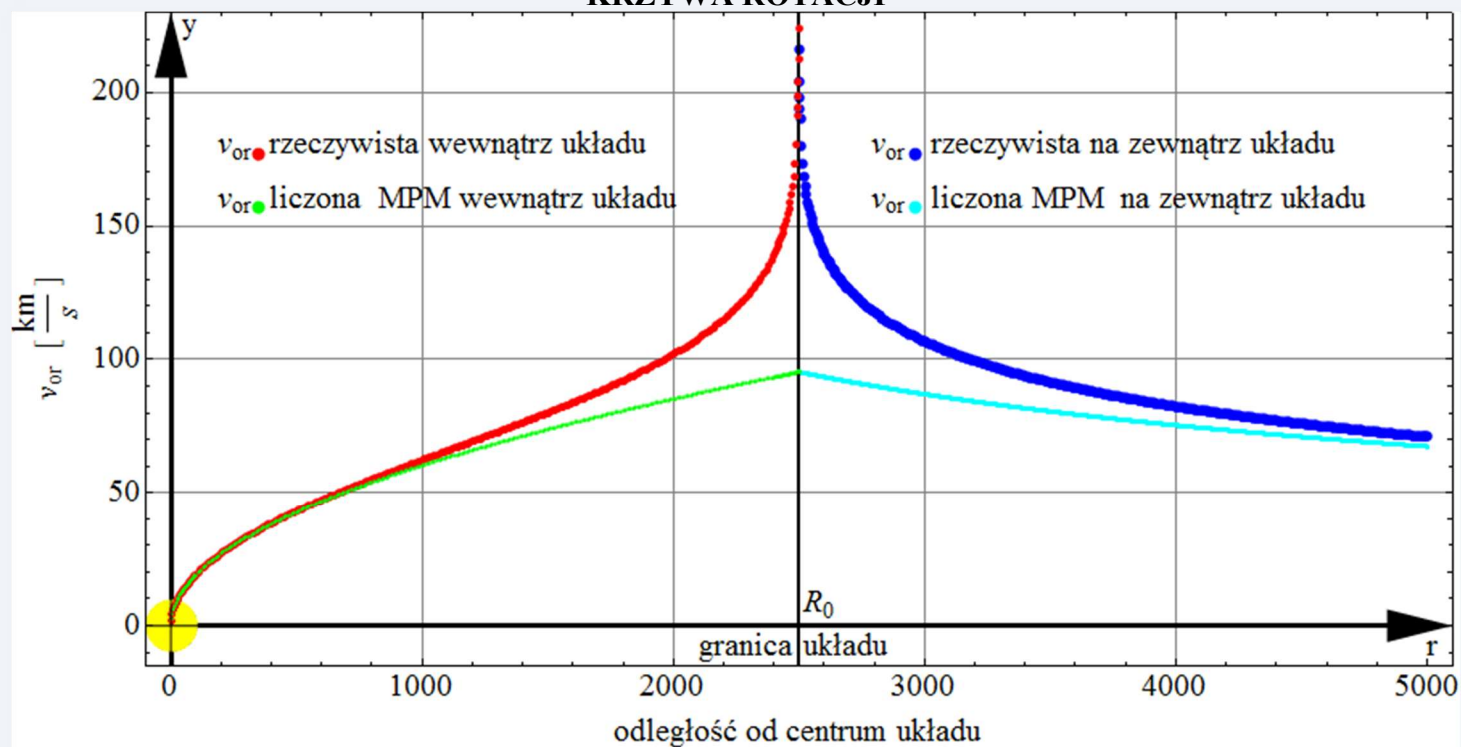
**INTERNET YOU TUBE**

- [15] Bajtlik Stanisław: Ciemna materia i ciemna energia we Wszechświecie. Warszawa ATVN [https://www.youtube.com/watch?v=O8t\\_NNpkIBU&t=743s](https://www.youtube.com/watch?v=O8t_NNpkIBU&t=743s)
- [16] Bliżej Nauki: Na tropie ciemnej materii - dr hab. Grzegorz Zuzel, prof. UJ  
<https://www.youtube.com/watch?v=Y9o-tf8cbWs>
- [17] Ciemna strona Wszechświata - A. Durkalec i A. Hryczuk - NCBJ  
[https://www.youtube.com/watch?v=\\_oMfeke2P7M](https://www.youtube.com/watch?v=_oMfeke2P7M)
- [18] Joanna Jałocha: Zagadkowa ciemna materia, Copernicus Center 2017  
<https://www.youtube.com/watch?v=TvUMnGKvLPs&t=82s>

**FILMY**

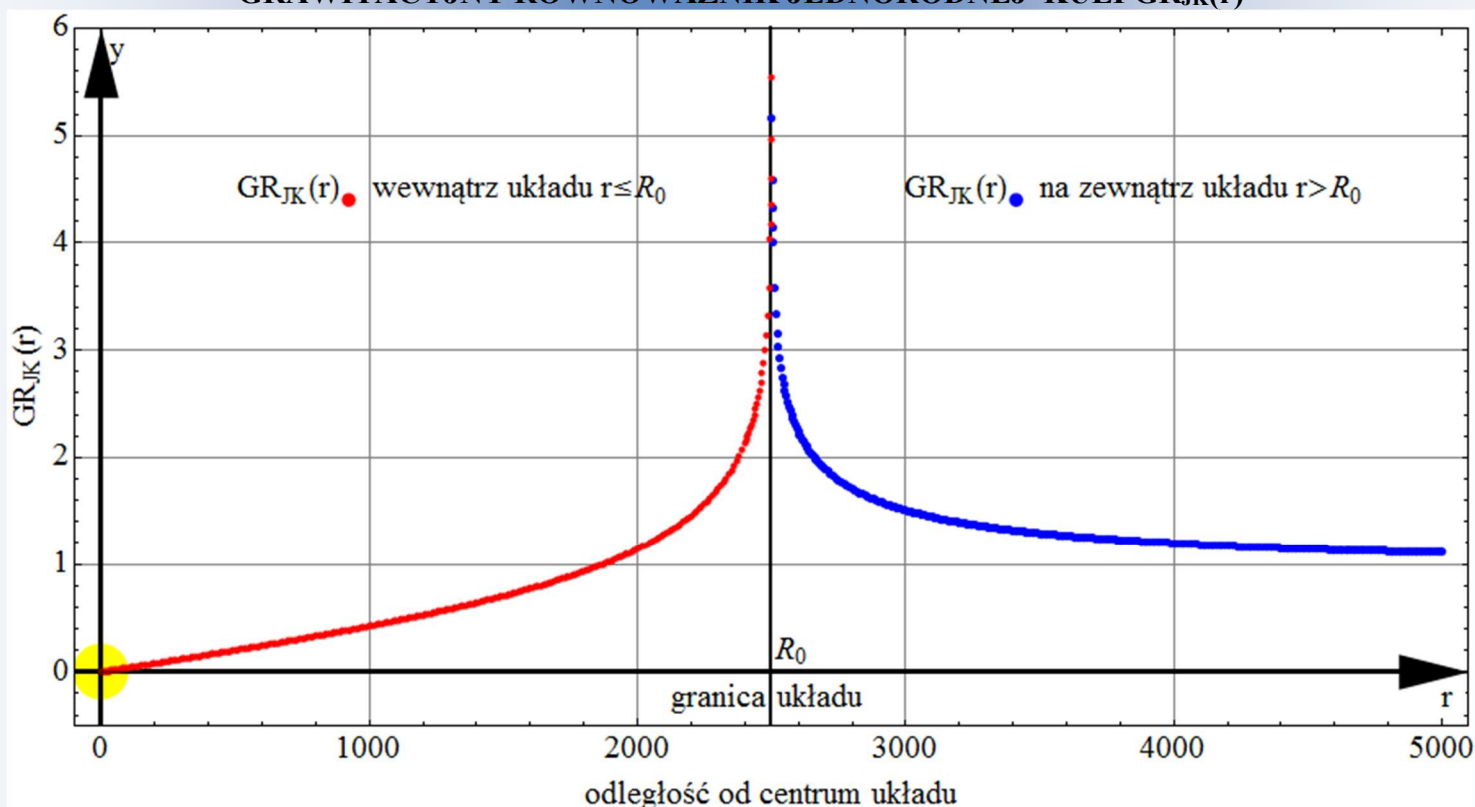
- [19] Editor Steve Crabtree *Zagadka ciemnej energii*, BBC Science Production London 2015

## JEDNORODNY UKŁAD KOŁOWY 22,7 MLN CIAŁ NIEBIESKICH KRZYWA ROTACJI



*Krzywa rotacji jednorodnego układu kołowego sferycznych ciał niebieskich związanych grawitacyjnie.  
Liczba ciał niebieskich związanych grawitacyjnie 22,7 mln.*

## GRAWITACYJNY RÓWNOWAŻNIK JEDNORODNEJ KULI $GR_{JK}(r)$

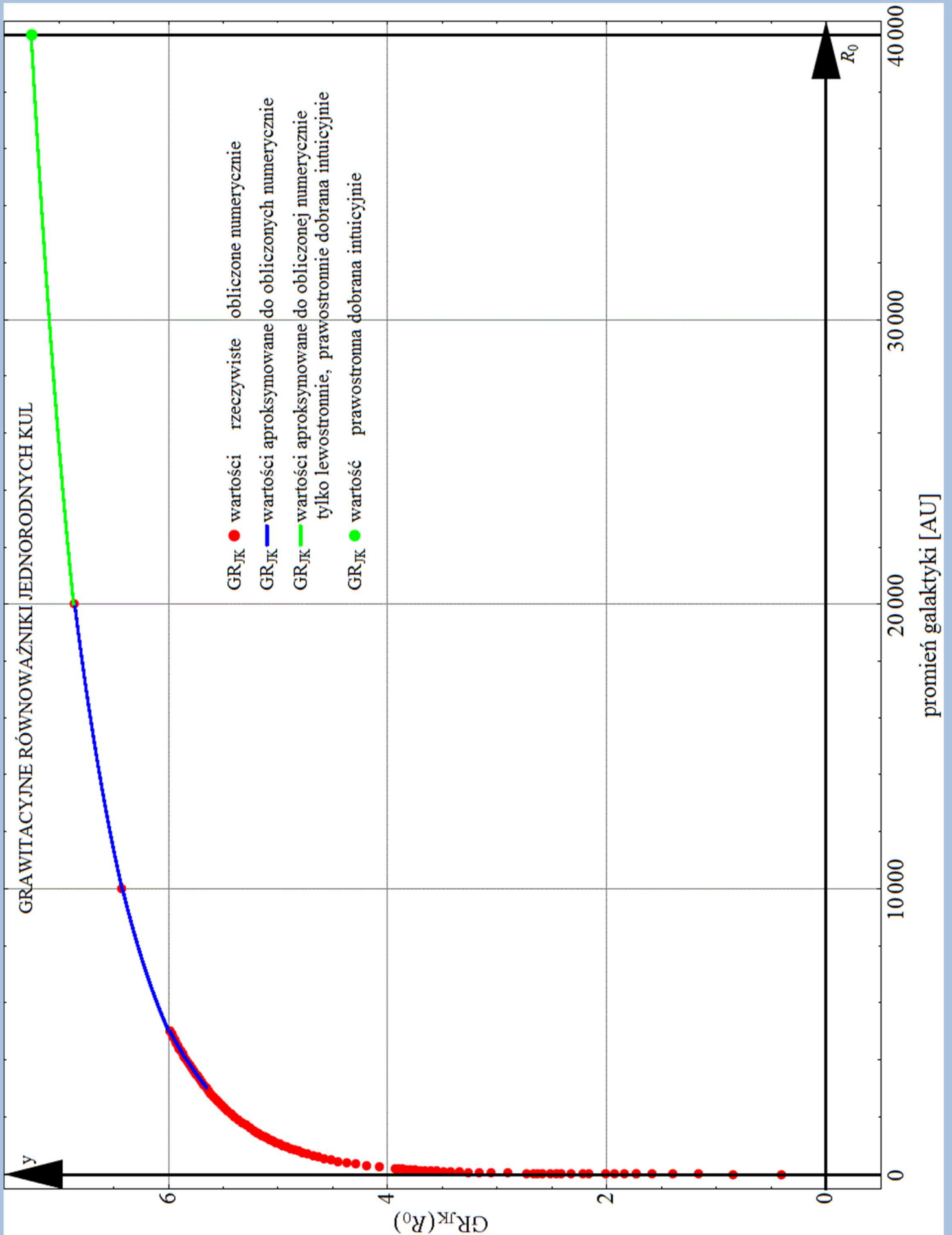


*Wykres grawitacyjnego równoważnika jednorodnej kuli  $GR_{JK}(r)$  dla jednorodnego układu kołowego  
w funkcji odległości od centrum układu.*

*$GR_{JK}(r)$  jest to współczynnik, który pokazuje ile razy masa jednorodnej kuli, umieszczonej w centrum układu, jest większa od masy ciał znajdujących się wewnątrz koła o promieniu  $r$ , żeby uzyskać taką samą rzeczywistą prędkość orbitalną, jaką posiada ciało w odległości  $r$  od centrum.*

*Mówiąc potocznym językiem fizyków i astrofizyków, oznacza to:  
"Ile należy dołożyć ciemnej materii żeby uzyskać rzeczywistą krzywą rotacji".*

*Dokładny i rozszerzony opis w książce „Układy ciał niebieskich związanych grawitacyjnie” [4].*



**GRAWITACYJNE RÓWNOWAŻNIKI JEDNORODNEJ KULI  $GR_{JK}(R_0)$   
DLA KOŁOWYCH JEDNORODNYCH UKŁADÓW TYPU W.  
MASY UKŁADÓW OD 7 DO  $5,804 \times 10^9$ .**

*Dokładny i rozszerzony opis w książce  
„Układy ciał niebieskich związanych grawitacyjnie” [4].*

ISBN 978-83-962251-0-8



9 788396 225108

