

# Traduzione e analisi terminologica di un testo del campo dell'astrofisica

---

Ćuto, Monika

Master's thesis / Diplomski rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zadar / Sveučilište u Zadru**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:162:852072>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-31**



**Sveučilište u Zadru**  
Universitas Studiorum  
Jadertina | 1396 | 2002 |

Repository / Repozitorij:

[University of Zadar Institutional Repository](#)



Sveučilište u Zadru

Odjel za talijanistiku

Diplomski sveučilišni studij talijanistike; smjer: prevoditeljski (dvopredmetni)

**Monika Ćuto**

Traduzione e analisi terminologica di un testo del campo dell'astrofisica

**Diplomski rad**

Zadar, 2020.

Sveučilište u Zadru

Odjel za talijanistiku

Diplomski sveučilišni studij talijanistike; smjer: prevoditeljski (dvopredmetni)

Traduzione e analisi terminologica di un testo del campo dell'astrofisica

Diplomski rad

Studentica:

Monika Ćuto

Mentorica:

Prof.dr.sc Iva Grgić Maroević

Zadar, 2020.



## Izjava o akademskoj čestitosti

Ja, **Monika Ćuto**, ovime izjavljujem da je moj **diplomski** rad pod naslovom **Traduzione e analisi terminologica di un testo del campo dell'astrofisica** rezultat mojega vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se oslanja na izvore i radove navedene u bilješkama i popisu literature. Ni jedan dio mojega rada nije napisan na nedopušten način, odnosno nije prepisan iz necitiranih radova i ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem da ni jedan dio ovoga rada nije iskorišten u kojem drugom radu pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj, obrazovnoj ili inoj ustanovi.

Sadržaj mojega rada u potpunosti odgovara sadržaju obranjenoga i nakon obrane uređenoga rada.

Zadar, 8. srpnja 2020.

## INDICE

1. INTRODUZIONE .....	1
2. TERMINOLOGIA.....	2
3. TRADUZIONE .....	9
4. SCHEDE TERMINOLOGICHE.....	31
5. CONCLUSIONE .....	58
6. RIASSUNTO .....	60
7. SAŽETAK.....	61
8. ABSTRACT.....	62
9. ALLEGATO.....	63
10. BIBLIOGRAFIA.....	85
11. SITOGRAFIA .....	85

## 1. INTRODUZIONE

Questa tesi di laurea si concentra sulla traduzione di un testo scientifico, dal campo dell'astronomia, meglio dire, dell'astrofisica, e sulla estrazione di alcuni termini che sembravano importanti da sapere. Sono stati scelti i termini da una parte del libro *Appunti di astronomia* e sono state composte dieci schede terminologiche in italiano e in croato. Si parla anche della terminologia come una scienza linguistica e si descrivono i passi fondamentali per fare un'analisi e una scheda terminologica.

I motivi per scegliere un tema come questo sono stati diversi. Innanzitutto, è importante conoscere differenti campi scientifici ed è utile avere delle conoscenze di questi differenti campi. Personalmente, il tema del testo che ho tradotto mi interessa molto e mi è sempre piaciuto leggere ed esaminare questo tema. Non era facile tradurre un testo scientifico pieno di sintagmi complessi, diverse formule, calcoli e frasi con i termini che non ho visto mai prima. Il tema dell'astrofisica è stato scelto perché esiste un interesse grande su questo campo della scienza ma sembra che in Croazia non è sviluppato così come lo potrebbe essere. Nello sviluppo di una scienza specifica ci aiuterà molto se proviamo di avvicinarla di più alle persone che non sono gli esperti però, nonostante ciò, vogliono sapere di più su questi temi. Con la semplificazione di alcuni temi che per natura sono molto complessi, otterremo un numero di persone che avranno la possibilità di studiare e imparare cose nuove.

Il testo che ho tradotto fa parte del libro che si chiama *Appunti di astronomia*. Il libro fu scritto da Angelo Angeletti e Manlio Bellessi. Ho tradotto il primo capitolo intitolato *L'Universo: Struttura ed evoluzione*.

Dal detto testo ho estratto dieci unità terminologiche e dopo di aver fatto la traduzione ho fatto delle schede terminologiche in italiano e in croato.

Per poter tradurre il testo, per lo più sono stati utilizzati i dizionari e le enciclopedie online. Il dizionario e l'enciclopedia *Treccani* era molto utile perché contiene tutte le informazioni che sono state importanti per capire meglio il testo. Mi sono servita anche del dizionario online di *Corriere della sera* per capire il significato di qualche parola, senza investigare un po' più a fondo, è molto semplice e facile da usare. Ho utilizzato anche i dizionari italiano - inglese come *Collins*, *Word Reference* e *Context Reverso* che

sono stati molto utili perché quando traduco mi servo dell'inglese e per me è più facile tradurre con la mediazione dell'inglese. Per quanto riguarda il croato, per lo più ho utilizzato la pagina di *Hrvatski jezični portal* dove sempre controllo il significato delle parole più complesse e tutti i contesti e campi in cui si potrebbero usare i termini e le parole che mi interessano. Mi ha aiutato molto anche la pagina di *Hrvatska enciklopedija* dove ho imparato tante cose che non ho saputo prima e dove ho imparato cose utili per avere un sottofondo con cui ho potuto comprendere meglio il testo che stavo traducendo. Per trovare i termini in croato che sono corretti e che sono convalidati, ho usato la pagina chiamata *Struna*. Si tratta di una base terminologica croata dove si raccolgono e conservano le unità terminologiche di diversi campi. È una pagina molto facile da usare ed è molto utile perché contiene tante informazioni che per me sono state importanti in questo lavoro.

Oltre a dizionari online e pagine web, ho usato anche *Il vocabolario italiano - croato* di Josip Jernej e Mirko Deanović e *Il vocabolario croato - italiano* di Josip Jernej e Mirko Deanović.

Tutto ciò mi è servito per poter capire, tradurre e terminologicamente analizzare un testo scientifico. Nei seguenti capitoli viene menzionata la storia della terminologia, i termini, la metodologia e l'analisi terminologica. Seguono la traduzione del testo, le schede terminologiche, l'analisi della traduzione e un riassunto dell'intero lavoro.

## 2. TERMINOLOGIA

### 2.1 La definizione

La terminologia viene considerata una scienza relativamente giovane, anche se nel medioevo sono stati scoperti i primi glossari terminologici. Grazie al lavoro di Eugen Wüster e Helmut Felber la terminologia viene definita come disciplina nella seconda metà del XX secolo. Per definire la terminologia in modo più semplice possiamo dire che si tratta di un gruppo di parole speciali che appartengono ad un settore scientifico, tecnico, artistico (per esempio, la terminologia di biologia, la terminologia di orticoltura, la terminologia di medicina etc.) Per definire la terminologia un po' più a fondo, si potrebbe dire che si tratta di una scienza linguistica che studia i termini e i concetti che si usano

dentro di un linguaggio speciale. A questo punto possiamo definire due tipi di linguaggi: il linguaggio generale che usiamo ogni giorno nella vita quotidiana e il linguaggio speciale con un sistema di termini che si usano in un settore speciale, cioè, un gruppo di termini specifici per una determinata disciplina (Pavel, Nolet 2001).

Per comprendere meglio la terminologia e tutto ciò che essa contiene e studia, penso che all'inizio sia utile ribadire anche la principale differenza fra la lingua e il linguaggio in generale. Quando si parla di una lingua si pensa sul sistema di comunicazione accettato da una comunità linguistica con cui si manifesta il linguaggio. Invece, quando si parla del linguaggio si pensa sulla innata capacità di un essere umano che gli permette di sviluppare un modo di comunicazione.

Ferdinand de Saussure, uno dei più grandi linguisti di tutti i tempi, lo definisce così:

“Ma che cos'è la lingua? Per noi, essa non si confonde con linguaggio; essa non ne è che una determinata parte, quantunque, è vero, essenziale. Essa è al tempo stesso un prodotto sociale della facoltà del linguaggio ed un insieme di convenzioni necessarie, adottate dal corpo sociale per consentire l'esercizio di questa facoltà negli individui. Preso nella sua totalità, il linguaggio è multiforme ed eteroclitico; a cavallo di parecchi campi, nello stesso tempo fisico, fisiologico, psichico, esso appartiene anche al dominio individuale e al dominio sociale; non si lascia classificare in alcuna categoria di fatti umani, poiché non si sa come enucleare la sua unità” (*Corso di linguistica generale*, Bari-Roma, Laterza, 1967, p. 19).

## 2.2 Le funzioni di terminologia

La funzione principale della terminologia è quella di descrivere i termini. Questo si riferisce alle parole, espressioni e simboli che si usano in settori speciali. La terminologia ha la funzione anche di diffondere le conoscenze sui linguaggi di settori speciali che sono stati raccolti attraverso le schede terminologiche, banche dati o differenti glossari.

La terminologia fa un ruolo importante anche nella traduzione. È molto importante avere a disposizione l'aiuto di glossari terminologici di diversi linguaggi speciali a cui si riferisce qualcosa che un traduttore sta traducendo. Per fare una traduzione buona e per risparmiare tempo bisogna avere utili glossari e schede terminologiche che ci potrebbero aiutare molto (Riediger 2010).



La terminologia fa parte della linguistica applicata e ciò vuol dire che per un traduttore è molto importante, per quanto riguarda la traduzione specializzata, avere una buona conoscenza della terminologia bilingue. È anche molto importante conoscere la terminologia speciale nella scrittura tecnica nella cui si utilizzano differenti termini di campi diversi.

### 2.3 Linguaggio speciale

La caratteristica di un linguaggio speciale per lo più è di ottenere le caratteristiche tipiche di monosemia. Secondo l'enciclopedia Treccani la monosemia è: “il fatto che un vocabolo, un'espressione, o un segno linguistico in genere, abbia un significato unico.” Nonostante a questo, i linguaggi speciali sempre si sviluppano a seconda delle convenzioni sociali. In realtà, i linguaggi speciali dovrebbero facilitare la condivisione globale del sapere. Dovrebbero aiutare a coloro che vogliono studiare un settore specifico. (Pavel, Nolet 2001).

Il linguaggio speciale che abbiamo studiato in questo lavoro è il linguaggio di settore di astronomia, o meglio dire, di astrofisica. In questo campo ci sono tanti termini scientifici che non si usano in nessun altro campo e che sono importanti e hanno valore soltanto in un campo scientifico molto stretto. Perciò, sembra importante avere anche dati terminologici che gli scientifici, e tutti gli altri che vogliono sapere di più su questi temi, possono usare per facilitare la comprensione di testi molto complessi e pieni di termini complicati.

### 2.4 Il termine

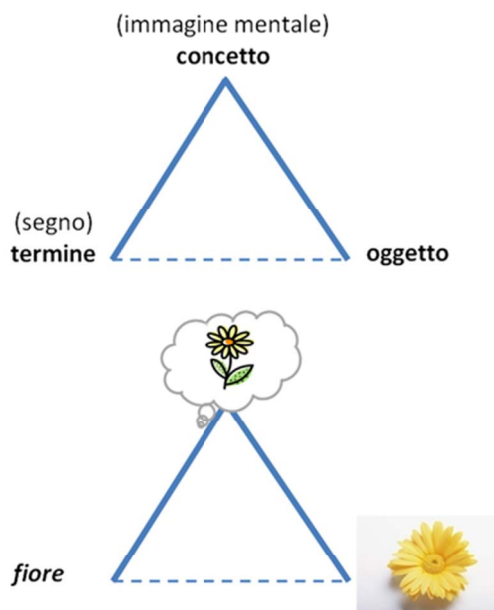
*Il termine* può essere una parola, un gruppo di parole, una locuzione o un segno con cui è possibile esprimere un concetto speciale. Si tratta di un elemento che fa parte di un linguaggio speciale, di un settore specifico (Riediger 2010).

L'unità terminologica nel linguaggio speciale è distinta dalla parola nel linguaggio generale per la sua relazione con il concetto speciale che denomina. Lo status del termine viene definito dalla frequenza dell'uso (Pavel, Nolet 2001).

Sotto abbiamo l'esempio che pone l'Accademia della Crusca:

“Ad esempio, se parliamo di 'raggio x, raggio gamma' è chiaro che ci stiamo riferendo univocamente ad un significato - quello che assume quel termine nell'ambito della fisica - mentre se troviamo la parola 'raggio' in un altro contesto, ad esempio in un testo poetico oppure se viene utilizzato nella lingua comune, la parola 'raggio' sarà suscettibile di significati diversi (pensiamo, ad esempio, a 'raggio' in espressioni come 'raggio di speranza', 'raggio di sole', 'ruota a raggi', ecc).”

Il termine si trova sempre in rapporto con l'oggetto concreto o astratto che rappresenta e con il concetto mentale. Sembra più facile spiegarlo con il triangolo semiotico che abbiamo sotto.



Cominciamo dagli *oggetti* che la mente riconosce come qualcosa concreto o astratto e che poi gli assegna un'immagine mentale che noi denominiamo *il concetto*. Questo concetto viene rappresentato con un segno, cioè, una parola o una locuzione, che si chiama *il*

*termine*. La linea fra il termine e l'oggetto è tratteggiata perché le parole con cui si esprime denotano soltanto un'etichetta, una convenzione sociale.

Ogni giorno cresce il bisogno di usare o creare dei nuovi termini. Quando ci dedichiamo a un settore speciale, cioè a un campo determinato, dobbiamo conoscere i termini che ci appartengono e se non esistono i termini specifici si devono creare i nuovi. Con la creazione di nuovi campi scientifici, di nuove scoperte e di nuove discipline si deve produrre dei termini che mai sono stati utilizzati o riconosciuti.

Secondo Riediger (2010), di solito, i linguaggi speciali utilizzano i termini già esistenti, ma quando si devono formare nuovi si usa uno di questi modi:

- terminologizzazione: è il processo in cui si attribuisce un nuovo significato a una parola già esistente, e dopo di questo, la parola del linguaggio comune viene utilizzata in un linguaggio speciale
- calco: si tratta di modellare una struttura sintattica o una locuzione di una lingua per poter usarla in un'altra lingua
- derivazione: è il processo attraverso il quale si forma una parola nuova dalla parola già esistente o perlomeno, dalla radice già esistente, dalla stessa o da un'altra lingua
- prestito: è il processo dell'assimilazione di un elemento che appartiene ad un certo dialetto o lingua
- composizione: è il processo attraverso il cui si uniscono due o più unità lessicali per poter formare una parola nuova

Egli sostiene lo seguente: “Si distingue tra termini polisemici (<piano>), con significati diversi nei diversi linguaggi speciali, e termini monosemici, cioè quelli con un unico significato di una disciplina ben precisa (<deramatura>).”<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Hellmut Riediger, *Cos'è la terminologia e come si fa un glossario*, (2010), p.12

## 2.5 La metodologia

Secondo Pavel e Nolet, tutte le tecniche e tutte le procedure che si usano per ottenere un obiettivo specificato costituiscono la metodologia di lavoro. Secondo l'enciclopedia di Treccani la metodologia è: "In senso generico, lo studio del metodo su cui dev'essere fondata una determinata scienza o disciplina; con senso più concr., il complesso dei fondamenti teorici o filosofici sui quali un metodo è costruito."

La metodologia si deve definire prima di cominciare con il lavoro, però, può essere modificata durante il processo di lavoro. Per fare un'analisi terminologica si deve identificare la documentazione speciale, delimitare il campo oggetto dell'analisi con il sistema di classificazione, si devono estrarre i termini e analizzare i termini specifici che abbiamo deciso sono i più significanti e fare una scheda terminologica con i detti termini.

## 2.6 La ricerca terminologica e l'estrazione di termini

Il lavoro terminologico richiede un'ottima conoscenza della struttura e del sistema linguistico da entrambe le lingue che si studiano. Conoscere le regole grammaticali e lessicali delle lingue aiuta con la ricerca terminologica. Esistono diversi modi dell'estrazione di termini per fare una ricerca terminologica e per creare una scheda terminologica. L'estrazione manuale si compone da leggere e annotare una serie di documenti che sono stati scelti dopo di aver consultato uno specialista di quel campo che stiamo ricercando. Con i risultati si stabilisce un sistema concettuale che porta fino alla lista di concetti che devono essere definiti. L'annotazione di testi si fa sottolineando le unità terminologiche che, durante la lettura, sono state riconosciute come importanti e marcando i parti del corpus che ci danno informazione su concetti che dobbiamo definire. Dopo della marcatura di termini e i loro concetti, tutto si raccoglie in fascicoli terminologici per poter scegliere la migliore opzione che sarà compresa nei banca dati terminologici. Quando si fanno delle ricerche terminologiche con grandi documenti e quando si devono estrarre i termini da più testi diversi, utilizzare l'estrazione manuale non ha alcun senso. Perciò, dobbiamo servirsi di altri modi dell'estrazione. Uno dei metodi è scansionare un corpus e così ottenere la versione elettronica del testo. Dopo di aver fatto

questo possiamo usare un programma per estrarre i termini dal corpus automaticamente (per esempio, *Nomine*). Otterremo una lista di termini in ordine alfabetico con il contesto corrispondente (Pavel, Nolet 2001).

Una scheda terminologica deve contenere una lista verso la cui sarà possibile introdurre un termine nuovo e spiegarlo in un modo facile e comprensibile. Prima si cerca il proprio **termine** e questo si può riferire a una sola parola o a un sintagma composto da varie parole. Con il campo di **categoria morfosintattica** descriviamo di che tipo di parola si tratta (se è un sostantivo, un pronome, un verbo, un sintagma). In seguito dobbiamo definire lo **status** del termine, cioè, lo status in cui il termine si trova in questo momento, se è convalidato o no, se si ancora deve verificare o se l'uso di questo termine è eliminato. Dopo abbiamo il **dominio** e **sottodominio** dove dobbiamo determinare in quale settore si usa il termine. L'elemento base di ogni scheda è il campo della **definizione** dove spieghiamo il significato dell'unità terminologica che stiamo analizzando. In seguito abbiamo i campi dove, se è possibile, bisogna trovare gli **iperonimi, iponimi, sinonimi e antonimi**. Dopo di questo bisogna trovare alcune **collocazioni** in cui si può usare il termine e mostrare il **contesto** in cui viene usato per poter capire meglio il significato. Nel campo di **note tecniche** possiamo mettere delle informazioni più dettagliate che saranno utili per comprendere meglio come si usa il termine. Alla fine poniamo il campo di **equivalente traduttivo** dove inseriamo l'equivalente d'altra lingua, il campo di **affidabilità** dove esprimiamo in che grado è affidabile usare questo termine e l'ultimo campo è quello dove, se esiste, inseriamo un **illustrazione**. (Riediger, 2010)

### 3. TRADUZIONE

Bilješke iz astronomije

#### SVEMIR: STRUKTURA I EVOLUCIJA

##### 1.1 - GALAKSIJE

Stari Grci su terminom *galaksija* označavali Mliječni put, odnosno, taj magličasti trag koji se prostire našim noćnim nebom na kojemu ga se, u dovoljno tamnim područjima, a posebice ljeti, može i uočiti. Danas, tim terminom označavamo nepregledne sustave sačinjene od plina, prašina, zvijezda, planeta..., koje zajedno pridržava gravitacijska sila. Sunce je dio galaksije koja nosi ime Galaksija (s velikim početnim slovom); Mliječni put je samo jedan od dijelova Galaksije, onaj vidljiv sa Zemlje. Otkriće galaksija ima dugu i kompleksnu povijest i dovoljno je prisjetiti se kako se ni na početku 20.st. nije sa sigurnošću moglo utvrditi jesu li razne svemirske maglice uočene na nebu bili objekti koji su pripadali našoj galaksiji ili su se nalazili izvan njenih granica.

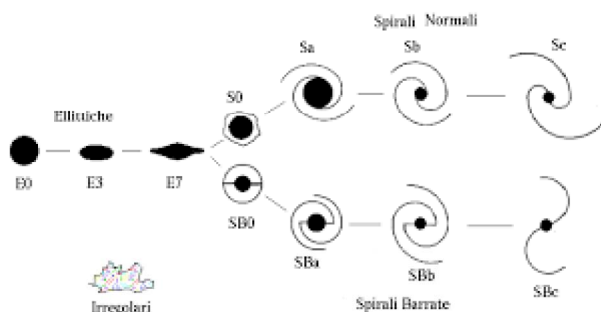
Galaksije mogu sadržavati od nekoliko milijardi zvijezda (one manje) pa sve do nekih bilijun zvijezda (one veće). One nemaju točnu granicu već se zvijezde smanjuju što se više udaljavaju od centra prema rubnim područjima. Upravo iz tog razloga, kad se govori o promjeru neke galaksije, zapravo se misli na promjer kružnice centra koji se podudara s galaksijinim i koji sadrži polovicu ukupne svjetlosti. Promjeri galaksija kreću se od nekoliko desetaka tisuća sve do nekoliko stotina tisuća svjetlosnih godina.<sup>2</sup>

Zvijezde od kojih su sastavljene galaksije rotiraju se oko centra promjenjivim brzinama koje je moguće odrediti prikladnim tehnikama mjerenja. Doduše, masa koju ima vidljiva tvar nije dovoljna kako bi se izračunala ta brzina: potrebno je puno više tvari od one koja se vidi (poznata pod nazivom *tamna tvar*). Jedan od najvećih problema moderne astrofizike jest upravo određivanje prirode te tvari koje nedostaje.

---

<sup>2</sup>Svjetlosna godina je mjerna jedinica za duljinu i označava udaljenost koju svjetlost, koja putuje otprilike 300 000 km/s, prijeđe u godinu dana. Jedna svjetlosna godina je otprilike 9500 milijardi kilometara.

### 1.1.1 - Klasifikacija galaksija



Slika 1.1 Hubbleova klasifikacija galaksija

Između 1924. i 1926. američki astronom Edwin Hubble, preko teleskopa Hooker (visine 2,54 m), koji je 1918. postavljen na Mount Wilson Opservatorij u Kaliforniji, zaprimo je fotografije maglice zvane Andromeda, na kojima se moglo uočiti zvijezde koje oblikuju spiralne krakove. Nakon toga, i druge maglice su otkrivene u zvijezdama sličnim onima iz Galaksije te su se i one počele nazivati galaksijama. Hubble stoga predlaže klasifikaciju na tri osnovna tipa: *eliptične* galaksije, označene slovom E; *spiralne*, označene slovom S; *nepravilne*, označene sa Ir.

Eliptične galaksije tako se nazivaju zbog njihova oblika a sastavljene su od zvijezda koje pripadaju Populaciji II, odnosno, od crvenih i žutih divova, crvenih i žutih patuljaka te od određenog broja bijelih patuljaka koji emitiraju vrlo malo svjetlosti; nedostaju plavo-bijeli divovi i superdivovi, kao i prašine. Područja formiranja zvijezda uglavnom nisu uočljiva. Eliptične galaksije se izvana razlikuju samo po većoj ili manjoj spljoštenosti. *Indikator spljoštenosti* Hubble definira kroz formulu  $10 \cdot (a-b)/a$ , gdje je  $a$  velika poluos a  $b$  mala poluos. Vrijednost koja se dobije obično je razlomak pa Hubble predlaže da ga se približi cjelini, za koju su moguće vrijednosti tog parametra cijeli brojevi od 0 do 10. Zapravo, eliptične galaksije koje imaju indeks spljoštenosti veći od 7 se niti ne proučavaju.

Spiralne galaksije dosta se razlikuju, ali sve se sastoje od središnje jezgre i krakova koji polaze od dijametralno suprotnih pozicija. Zahvaljujući svojim opažanjima, Hubble ih je

uspio podijeliti u podrazrede: kao mjerne jedinice koristili su se stupanj razvoja krakova i veličina jezgri galaksija. Oznakom **Sa** označavaju se spiralne galaksije čiji su krakovi slabo razvijeni ili se tek naziru. Jezgre tih galaksija uvijek su velikih dimenzija a često su gotovo upola velike kao i same galaksije. One manje razvijene od Sa galaksija nalikuju eliptičnim galaksijama. U pravilu, dva spiralna kraka izlaze iz dijametralno suprotnih točaka u jezgri: oni se razvijaju na sličan način te se gube simetrično u dva suprotna područja na periferijama galaksije. Zabilježeni su i primjeri galaksija s većim brojem spiralnih krakova. U podrazredu **Sb**, spiralni krakovi značajno su razvijeniji ali nisu bogato razgranati. Jezgra je manja nego kod Sa. Andromeda je tip Sb galaksije.



Slika 1.2 Galaksija NGC4565 tipičan je primjer spiralne galaksije gledane sa strane; jasna je linija plina i prašine u disku. Fotografija preuzeta iz Astronomskog opservatorija “Padre Francesco de Vico”, Serrapetrona (Marche)

Galaksije s izrazito razvijenim krakovima, koji se dijele na još mnogo drugih, s malim jezgrama u usporedbi s ovima, pripadaju tipu **Sc**. Kad se spiralne galaksije promatraju sa strane, kod svih je vidljivo suptilno tamno područje koje naizgled dijeli galaksiju na dva dijela: u blizini ravnine simetrije koncentrirane su prašine i plinovi. Naša Galaksija pripada tipu Sb ili Sc. Plošnost spiralnih galaksija približno ima vrijednost od 8 za Sa galaksije, od 8,5 do 9 za Sb galaksije i više od 9 za Sc galaksije. Krakovi spiralnih



galaksija sastavljeni su od zvijezda iz Populacije I, odnosno od divovskih užarenih zvijezda; u krakovima se nalaze prostrana područja u kojima nastaju zvijezde.

U uobičajenim spiralnim galaksijama, krakovi izlaze izravno iz jezgre; doduše, postoje galaksije kojima se jezgra nalazi usred "šipkaste" strukture koju čine zvijezde a spiralni krakovi počinju upravo od krajeva tih šipki. Poput onih običnih, šipkaste spirale dijele se u tri podrazreda koje se označavaju sa **SBa**, **SBb**, **SBc**, s obzirom na stupanj razvijenosti krakova. Još uvijek nije jasan razlog postojanja šipkaste strukture.

Za do sada spomenute galaksije karakterističan je simetričan oblik; ali velik je broj i galaksija nepravilnog oblika. Jedan od primjera su Magellanovi oblaci, satelitske galaksije Mliječnog puta.

### 1.1.2 - Struktura Galaksije

Galaksija se sastoji od otprilike dvjesto milijardi zvijezda, raspoređenih tako da formiraju disk. Okružuje ju sferni halo koji se sastoji od kuglastih skupova (skupova u kojima su zbijene zvijezde) te je uronjen u još veći halo tamne tvari, koji je prepoznatljiv samo zbog svojih gravitacijskih efekata.

Na Mliječnom putu, kao što je već rečeno, dijelu Galaksije koji je vidljiv sa Zemlje, nalaze se oblaci prašine i hladnih plinova<sup>3</sup> koji zamračuju pogled na pozadinske dijelove (teleskopskim promatranjima vidljivo je i postojanje oblaka vrućih plinova u čijoj se unutrašnjosti formiraju nove zvijezde); proučavanjem radio valova koje emitiraju ovi oblaci utvrđeno je kako bi se Galaksiju vjerojatno moglo klasificirati kao tip Sb ili Sc. Također se može zaključiti i da Galaksija ima promjer od otprilike 30 kpc<sup>4</sup> (otprilike 100 000 svjetlosnih godina) a da se Sunce nalazi na 9 kpc (otprilike 30 000 svjetlosnih godina) od centra. Na vanjskim područjima debljina je 300 pc (otprilike 1000 svjetlosnih godina), a u središtu postoji zadebljanje u obliku zvjezdanog ispupčenja (više se upotrebljava engleski termin *bulge*) koja ima promjer od 7 kpc (otprilike 20 000 svjetlosnih godina) i

---

<sup>3</sup>Valja se prisjetiti da se pojam *temperatura plina* u biti odnosi na određenu količinu koja se vezuje uz srednju kinetičku energiju čestica od kojih se sastoji; drugim riječima, u hladnom plinu čestice se kreću sporo dok se u toplom plinu čestice kreću veoma brzo.

<sup>4</sup>kpc = kiloparsek = 1000 parseka. Parsek (pc) jest mjerna jedinica za udaljenost koju koristimo ukoliko želimo dobiti radijus Zemljine orbite (otprilike 150 milijuna kilometara) pod kutom od 1" (u kutnim sekundama); odgovara veličini od otprilike  $3,086 \cdot 10^{16}$  m, odnosno, 3,26 svjetlosnih godina.

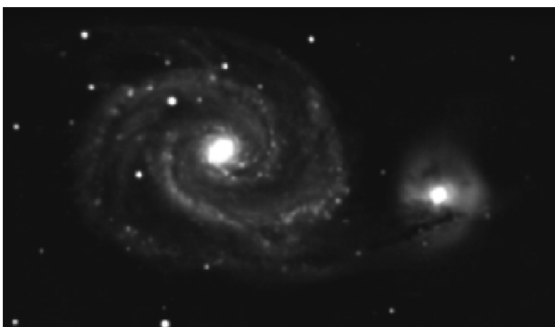
dubinu od 1 kpc (otprilike 3000 svjetlosnih godina). Gledajući sa Zemlje, centar Galaksije nalazi se u zviježđu Strijelac.

U Galaksiji se pručavaju zvijezde različite dobi; jako stare zvijezde nalaze se u ispupčenju i halou (zvijezde iz Populacije II) te se smatra da su sve što je preostalo od prvog perioda velikog formiranja zvijezda do perioda formiranja same Galaksije; mlade zvijezde (iz Populacije I), koncentrirane u sloju širokom otprilike 500 pc (1500 svjetlosnih godina), srednje dubine na razini diska, u kojem su zvijezde i dalje u procesu formiranja; zvijezde srednje dobi, između 2 i 5 milijardi godina (među kojima je i Sunce), koje su raspoređene po čitavom disku.

Zvijezde u disku kruže oko središta Galaksije: Sunce ima brzinu od 250 km/h te mu je potrebno otprilike 225 milijuna godina da napravi potpuni krug. Proučavanje kretanja zvijezda omogućava određivanje ukupne mase Galaksije (procjenjuje se da se radi o gotovo 1000 milijardi puta većoj masi od sunčeve), odnosno, negdje oko 10 puta mase oduzete od vidljive tvari. To je dokaz postojanja tamne tvari.

### 1.1.3 - Porijeklo i evolucija galaksija

Općeprihvaćeno je da su galaksije nastale u hlađenju velikih primordijalnih plinskih oblaka, koji su, zbog posljedičnog stezanja i razdvajanja u zvijezdama, bili izvori strukturama koje danas proučavamo. Mehanizmi razlikovanja kod eliptičnih i spiralnih galaksija i dalje nisu jasni. Postoje dva različita stajališta: 1) eliptične i spiralne galaksije rađaju se neovisno kao različiti tipovi, 2) jedna je rezultat evolucije one druge.



Slike 1.3 - Sudar galaksija (M51 i NGC5195) na udaljenosti većoj od 20 milijuna svjetlosnih godina. Fotografija preuzeta iz Astronomskog opservatorija "Padre Francesco de Vico", Serrapetrona (Marche)

Prema prvom stajalištu eliptične galaksije nastale su prve, kao rezultat procesa formiranja zvijezda, bržeg od posljedičnog kolapsa. Spiralne galaksije se rađaju kao rezultat mnogo sporijih razdvajanja u kojima prvo oblak kolapsira kako bi nastao disk te se poslije rastavlja kako bi se formirale zvijezde.

Prema drugom stajalištu, pošto zbog dinamike nije moguće da spiralne galaksije nastaju evolucijom iz eliptičnih, pretpostavlja se da je svemir u početku bio formiran od spiralnih galaksija koje se radi spajanja uslijed “sudara” smatraju izvorima eliptičnih galaksija.

Za problem porijekla materijala od kojih su sastavljene galaksije izgleda da rješenje pronalazimo u modelima koji opisuju porijeklo svemira.

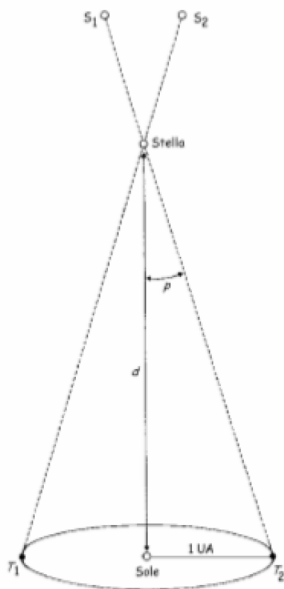
## 1.2. STRUKTURA SVEMIRA

Za poznavanje strukture svemira ključno je izmjeriti udaljenost svemirskih objekata. Prvi pokušaji da se procjene dimenzije svemira potiču iz doba starih Grka: Eratosten je izračunao opseg Zemlje, Aristarh i Hiparh iznijeli su načine na koje bi se mogla izračunati udaljenost Sunca i Mjeseca. Poznavajući udaljenost od Sunca bilo je moguće izračunati i njegovu masu: dakle, uz pomoć trećeg Keplerova zakona, moguće je izračunati udaljenost planeta Sunčevog sustava.

Kako bi se odredila udaljenost najbližih zvijezda koristi se tzv. *godišnja paralaksa* (vidi sliku 1.4), prema kojoj se bliske zvijezde prividno pomiču u odnosu na one udaljene zbog kretanja Zemlje oko Sunca. Najveći pomak ima promjer Zemljine orbite (otprilike  $3 \cdot 10^{11} \text{ m} = 2 \text{ UA}^5$ ). Fenomen godišnje paralakse zapravo je toliko malen da se može izračunati samo uz pomoć instrumenata iznimne preciznosti (Bessel, 1837.). Ako se mjeri kut paralakse  $p$  u kutnim sekundama, udaljenost  $d$  jedne zvijezde, u parsecima, iz jednostavne relacije dobivamo:  $d = 1/p$

---

<sup>5</sup>Astronomska jedinica (AU) je mjerna jedinica za udaljenost među svemirskim objektima i jednaka je srednjoj udaljenosti Zemlje od Sunca: 149 598 706,1 km.



Slika 1.4 Godišnja paralaksa

Pomoću fotografskih tehnika, početkom 20.st, uspjelo se izračunati kutove paralakse s pogreškom od samom  $0,01''$ . Stoga je bilo moguće izračunati, s velikom preciznošću, udaljenost zvijezda unutar nekoliko desetina parseka. Zvijezda najbliža Suncu je Proxima Centauri, čija je paralaksa  $p = 0,762''$ , koja odgovara udaljenosti  $d = 1,3 \text{ pc} = 4,3 \text{ gs}$ .

Kako bi se kut paralakse izračunao što preciznije, 8. kolovoza 1989., ESA (Europska Svemirska Agencija), lansirala je satelit Hipparcos (skraćena od engleskog naziva High Precision PARallax COLlecting Satellite). Završena 15. kolovoza 1993., misija je omogućila da se sazna pozicija otprilike 100 000 zvijezda s preciznošću od  $0,001''$ . U teoriji, to bi trebalo omogućiti mjerenje udaljenosti zvijezda sve do 1000 parseka (3260 svjetlosnih godina), a u praksi smo došli tek do 1000 svjetlosnih godina, što je, u svakom slučaju, dosta veća udaljenost od prethodno dosegnute granice.

ESA trenutno radi na misiji GAIA (Global Astrometric Interferometer for Astrophysics), s ciljem da se izračuna paralaksa 50 milijuna objekata s preciznošću od 10 kutnih sekundi ( $0,00001''$ !), što je 100 puta preciznije od Hipparcosa. U teoriji, ovo bi trebalo omogućiti mjerenje udaljenosti svih zvijezda unutar Mliječnog puta (koristeći kao temelj druge galaksije).

Metodu paralakse nije moguće primjeniti kako bi se izračunala udaljenost galaksija. Veliku ulogu u tome još jednom su imali teleskop Opservatorija Mount Wilson kao i Hubble. On je koristio otkriće Henriette Swan Leavitt (jedne od rijetkih žena koje su se bavile astronomijom) prema kojemu postoji relacija između perioda i luminoziteta promjenjivih zvijezda vrste cefeida<sup>6</sup>.

Načini određivanja udaljenosti galaksija temelje se na identificiranju svemirskih objekata koji pripadaju tim istim galaksijama, a za koje se smatra da je poznata, s diskretnom preciznošću, apsolutna magnituda  $M^7$ . Sa Zemlje je uvijek moguće izračunati prividnu magnitudu  $m$ , odnosno, količinu svjetlosti koja dolazi od određenog objekta; iz ove dvije vrijednosti, primjenjujući korelaciju

$$d = 10,$$

može se odrediti udaljenost  $d$ . Svemirski objekti koji se koriste u ovom mjerenju nazivaju se *kozmoški indikatori udaljenosti* ili *standardne svijeće*. Indikatore se klasificira na primarne, sekundarne i tercijarne. Primarne indiktore koristi se za mjerenje udaljenosti objekata izvan naše galaksije, čiju se magnitudu može odrediti (odnosno, može ih se kalibrirati) promatrajući objekte iz naše galaksije. Sekundarni su oni kojima kalibriranje ovisi o poznavanju udaljenosti bliskih galaksija koja se izmjeri pomoću primarnih indikatora. Tercijarni su oni kojima kalibriranje ovisi o poznavanju udaljenosti objekata (galaksija) koja se izmjeri pomoću sekundarnih indikatora.

Primarni indikatori dopuštaju procjenu udaljenosti sve do otprilike 30 Mpc (megaparsek = milijun parseka), sekundarni i tercijarni sve do više od 1000 Mpc.

Među najznačajnijim i najpouzdanijim primarnim indikatorima nalaze se već spomenute zvijezde tipa Cefeida: nakon što je određen period moguće je odrediti i apsolutnu magnitudu zvijezde a tako i njenu udaljenost. Svemirski teleskop Hubble uspio je procijeniti udaljenosti do 30 Mpc (otprilike 100 milijuna svjetlosnih godina). Među ostalim primarnim indikatorima koji se često koriste su i supernove. One imaju apsolutni sjaj veći od Cefeida te su stoga vidljive s jako velikih udaljenosti.

---

<sup>6</sup> Cefeide su veoma sjajne promjenjive zvijezde koje imaju dosta pravilne periodične varijacije.

<sup>7</sup> Apsolutna magnituda izražava luminozitet koji bi nebesko tijelo imalo kad bi se nalazilo na 10 pc (32,6 svjetlosnih godina) od Zemlje; pokazatelj je stvarnog sjaja zvijezde.

Sekundarni indikatori koji se najčešće koriste su: luminozitet najsjajnijih zvijezda u galaksiji, najsjajnija područja ioniziranog vodika (H II područje), distribucija luminoziteta kuglastih skupova, Tully-Fisher relacija (mjerenje emisijske linije neutralnog vodika i apsolutne magnitude galaksije na 21 cm), korelacija između boje i luminoziteta galaksije. Tercijarni indikatori su: luminozitet spiralnih galaksija, dimenzija spiralnih galaksija i korelacija s luminozitetom te ukupna svjetlost najsjajnijih zvijezda.

Mjerenje nebeskih objekata, čak i onih bliskih, uvijek sa sobom nosi određene dvojbe<sup>8</sup>, pa je stoga očito da što udaljeniji objekti se pokušavaju izmjeriti, nedoumice su sve veće. Drugi problem je određivanje količine zračenja koju apsorbira međugalaktičko sredstvo. U tom slučaju radi se o idejama koje se razlikuju toliko da je svaki izračun drugačiji i ovisi od astronoma do astronoma.

### 1.2.1 Hubbleov zakon

1912. otkriveno je da galaksije predstavljaju pomak prema crvenom dijelu spektra<sup>9</sup>. Negdje 1920., Hubble je uspio razlikovati zvijezde Cefeide od nekih galaksija te je odredio njihovu udaljenost otkrivši da se radi o ekstragalaktičkim zvijezdama. 1929. predlaže tumačenje pomaka spektra Dopplerovim efektom, prema kojemu je taj pomak jednak mjerenju brzine udaljavanja izvora svjetlosti. Kada se u relaciju stave udaljenost  $r$  (određena metodom s Cefeidama) i brzina udaljavanja  $v$  (određena pomakom prema crvenom dijelu spektra), dolazi se do sljedećeg zaključka:

$$v = H_0 \cdot r,$$

gdje je  $H_0$  oznaka za Hubbleovu konstantu.

Jedan od prvih zaključaka koji se izvode iz Hubbleova zakona jest da je moguće napraviti model svemira prema skalama. Iako točna vrijednost Hubbleove konstante koja

---

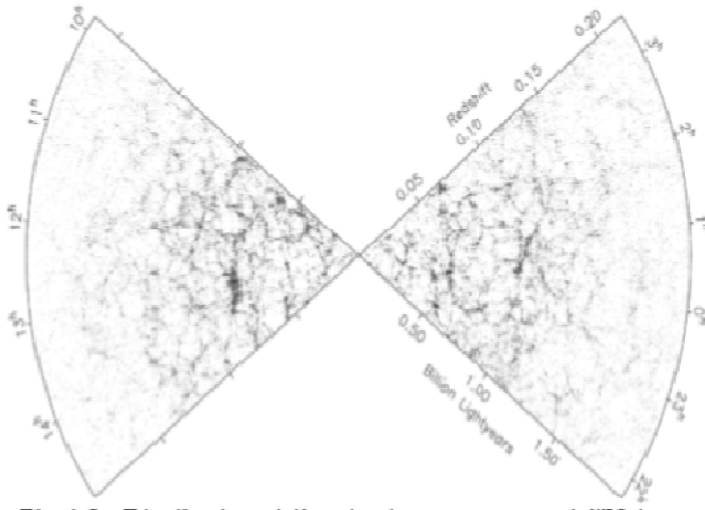
<sup>8</sup> Već kod mjerenja udaljenosti Velikog Magellanovog oblaka, prema korištenim indikatorima, dobivene su vrijednosti između 44 kpc i 44 kpc; procjena koja je trenutno najprihvaćenija je  $51 \pm 1$  pc.

<sup>9</sup> Analogan je Dopplerovom efektu koji tumači da ukoliko se izvor zvučnog vala približava promatraču, frekvencija postaje sve viša, a ukoliko se udaljava frekvencija postaje sve niža. Za svjetlost vrijedi analogan efekt: svjetlosni valovi koji nam dolaze od nekog svjetlosnog izvora u pokretu kreću se prema ljubičastom dijelu spektra (male valne duljine) ukoliko se izvor približava, a ukoliko se izvor udaljava kreću se prema crvenom dijelu (velike valne duljine). Teorija relativnosti daje formule relevantne za opisivanje ovog fenomena: ako izvor u pokretu koji se kreće brzinom  $v$  prema nepokretnom promatraču odašilje zraku svjetlosti valne duljine  $\lambda$ , primljena valna duljina  $\lambda'$  je veća. Crveni pomak ( $z$ ) definiran je relacijom  $z = \lambda' - \lambda / \lambda$  iz koje se može izvući brzina izvora. Ako je  $v$  puno manji od brzine svjetlosti  $c$ , relacije se pojednostavljaju:  $z = v/c$  a iz toga  $v = z \cdot c$ .

predstavlja samo “faktor skale” nije poznata, formula je svejedno definirana. Trenutna vrijednost  $H_0$ , izračunata početkom 2003., prema podacima NASA-inog satelita WMAP (Wilkinsonova mikrovalna anizotropna sonda) jest 71 km/s po Mpc ( $= 2,30 \cdot 10^{-18} \text{ s}^{-1}$ ). Sekunda je osnovni rezultat Hubbleovog zakona i toga da se svemir širi.

### 1.2.2 Distribucija galaksija

Promatrajući stotine tisuća galaksija, dalo bi se zaključiti da njihova distribucija nije uvijek jednaka te da postoje strukture koje su jako prostrane. Jedan od glavnih problema kozmologije jest opisati nastajanje tih struktura.



Slika 1.5 Distribucija galaksija: ovu mapu bliskog Svemira, na kojoj svaka točka predstavlja galaksiju, dobila je skupina anglo - australskih znanstvenika, a sadržava više od 140 000 galaksija.

Galaksije se uglavnom nalaze u skupinama zajedno s nekoliko desetaka drugih galaksija, u *skupovima* s tisućama komponenti koje su dijelovi još većih struktura koje se nazivaju *superskupovi*, sastavljeni od desetaka skupova spremnih da formiraju duga galaktička vlakna. Posljednje istraživanja su pokazala da svemir ima pjenastu strukturu koju formiraju prazni mjehurići na čijim zidovima se nalaze vlakna superskupova.

Galaksija pripada tzv. Mjesnoj skupini u koju spadaju galaksija Andromeda (spiralna galaksija malo veća od Galaksije), galaksija M33 u zvijezdu Trokut (i ona je spiralna, ali

je manja od prethodne dvije) te nekih tridesetak patuljastih eliptičnih galaksija (među kojima su dva Magellanova oblaka, vidljivi na nebu južne polutke). Cijela grupa nalazi se na području promjera od otprilike 1 Mpc. Mjesna skupina nalazi se na periferijama Skupa Djevica (radi se o strukturi bogatoj tisućama galaksija) i pokazuje primjetno kretanje u pravcu njenog središta; pomaci na velikim skalama poput ovih otkriveni su u brojnim bliskim skupovima.



Slika 1.6 - Galaksija Andromeda. Fotografija Alfreda Trombette preuzeta iz Astronomskog opservatorija "Padre Francesco de Vico", Scrapetrona (Marche)

Postoje različite vrste skupova: najbogatiji i najgušći okruglog su oblika, oni manje brojni imaju plosnat i nepravilan oblik. Područja gustih populacija, kao što su središta skupova, puna su eliptičnih i S0 galaksija ali u njima nema plinova i zvijezda u formiranju. U manje gustim područjima nalaze se spiralne i nepravilne galaksije. To nas dovodi do starog, još uvijek ne riješenog pitanja: jesu li spiralne galaksije ikad postojale u područjima koja su bogata skupovima ili je neki procesom došlo do njihova uništenja, odnosno, transformacije? Unatoč tome što postoje mnogi dokazi da su se u nekim skupovima spiralne galaksije, nekoć brojne, uz pomoć vanjskih faktora transformirale u eliptične ili S0 galaksije, rasprava je i dalje otvorena.



Jedan od načina transformacije je spajanje galaksija, i iako se radi o rijetkom slučaju, pri velikim brzinama koje su zabilježene u skupovima, moguće je da je to jednom bilo od velike važnosti. Ukoliko bi skupovi sadržavali neku vrstu međugalaktičkog sredstva moglo bi doći i do drugačijeg načina transformacije. Nešto slično otkriveno je preko prvih satelita koji su očitavali rendgenske zrake te je zabilježeno postojanje istog u skupovima te čak i u galaktičkim grupama. Slučajni pokreti u skupu zagrijavaju te plinove na temperaturu od 10 milijuna Kelvina<sup>10</sup>, zbog čega postaju vidljivi samo zbog rendgenskih zraka koje proizvode. Taj plin, uglavnom, ima masu jednaku masi zvijezda u vidljivim galaksijama, a kako se one kreću u njegovom smjeru, stvara neku vrstu vanjskog vjetra. Moguće je da u početku bude toliko jak da iz spiralne galaksije izvuče plin. Takva spiralna galaksija, u kojoj nema plina, zaustavit će formiranje zvijezda te će u veoma kratkom roku početi nalikovati na S0. Podrobnija istraživanja u skupovima kao što je Skup Djevice zaista su dokazala da su spiralne galaksije koje su bliže središtu, izgubile vanjska plinovita područja.

Detaljne studije o udaljenosti i pomaku bliskih galaksija dodale su još jedan aspekt u razumijevanju dinamike skupova: oni se još uvijek nalaze u periodu rasta! Što je veća udaljenost, veće je vrijeme koje je potrebno gravitaciji skupa da bi djelovala na obližnje galaksije tako da one najudaljenije idu u suprotnom smjeru u odnosu na širenje svemira te upadaju u skup.

### 1.3. PORIJEKLO I EVOLUCIJA SVEMIRA

Dosadašnja proučavanja i studije navode nas da mislimo kako gravitacijska sila na okupu drži cijeli svemir te je stoga očito da se za konstruiranje matematičkih modela kojima bi se mogao opisati svemir koriste teorije koje opisuju tu interakciju. Trenutno su najkompletniji i najpouzdaniji modeli koji proizlaze iz opće teorije relativnosti. Ne nedostaje onih koji tvrde kako je u određivanju strukture i razvoja svemira elektromagnetska sila puno važnija nego što se misli.<sup>11</sup>

---

<sup>10</sup> Kelvin je mjerna jedinica za temperaturu (oznaka K); vrijednost od 0 K podudara se vrijednošću apsolutne ničice (-273°C), odnosno, najniže moguće temperature. U kelvinima temperatura leđišta vode (0°C) odgovara 273 K, a temperatura vrelišta vode (100°C) 373 K.

<sup>11</sup> vidi Lerner E.J. - *Veliki prasak se nikad nije dogodio*, DEDALO, 1994

### 1.3.1 Kozmološka načela

Opću teoriju relativnosti (OTR) 1916. objavljuje Albert Einstein. U dokumentu objavljenom 1917. primijenio je OTR na svemir u cijelosti pokušavajući izvesti zaključak o njegovu stanju koje bi bilo rješenje njegovih jednadžbi. S obzirom da tada još nije bio poznat Hubbleov zakon te stoga ni pojam širenja svemira, on uvodi rješenje koje bi trebalo opisati prosječno dijeljenje svemirske materije a to bi dijeljenje trebalo biti homogeno i izotropno i u prostoru i u vremenu (svemir se ne bi trebao razvijati). Rješenja, doduše, nisu bila u skladu s uvjerenjima tog doba prema kojima je svemir bio statičan pa je on prilagodio svoje jednadžbe, što se smatra njegovom najvećom pogreškom.

U osnovi svih teorija o razvoju svemira stoji pretpostavka poznata kao kozmološko načelo: 1) na velikim skalama svemir je, po izmjerenim približnim vrijednostima, homogen i izotropan, odnosno, ne postoje privilegirane pozicije ili usmjerenja; 2) na velikim skalama svemir je, po izmjerenim približnim vrijednostima, homogen i izotropan u svakom trenutku, odnosno, homogenost i izotropija su jednake čak i kroz vrijeme.

Kroz prošlost, ove dvije formule bile su temelj dva različita modela svemira. Danas se, u gotovo svim modelima, koristi ova prva: prihvaćeno je da je svemir u procesu evolucije.

### 1.3.2 - Friedmanovi modeli

1929. Alexander Alexandrovich Friedman pokazao je da, ukoliko će kozmološko načelo biti prihvaćeno, postoje rješenja za jednadžbe opće relativnosti koja predstavljaju novi aspekt: nemoguće je da je svemir nepomičan i sigurno je da se razvija kroz vrijeme.

Svemir ili je potekao iz singulariteta (stanje beskonačne gustoće i temperature), ili pada prema singularitetu, ili su obe situacije moguće.

Friedmanovi modeli dakle, opisuju tri moguća scenarija evolucije svemira. Tu glavnu ulogu imaju trenutna vrijednost gustoće svemirske materije ( $\rho$ ) i tzv. kritična gustoća ( $\rho_c$

$= \frac{3H_0^2}{8\pi G} = 9,5 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ), koja proizlazi iz teorije. Ovo vrijednost definiraju *parametar*

*gustoće*  $\Omega = \rho / \rho_c$ .

Tri su moguća scenarija koja potiču iz opće teorije relativnosti:

- Ako je  $\Omega > 1$ , svemir će se širiti sve dok ne dosegne maksimalnu udaljenost, dakle, pomak se preokreće sve dok ponovno ne donese cjelokupnu materiju u

jednu jedinu točku: Veliko sažimanje. U skladu s ovim modelom je *oscilirajući svemir*. Geometrija svemira je sferična a svemir je otvoren.

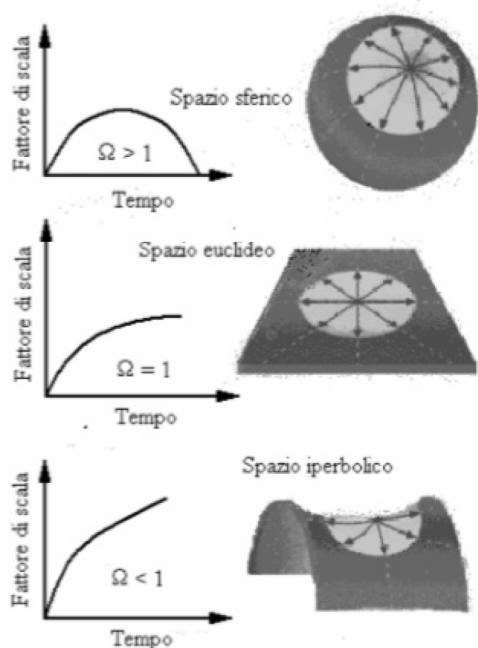
- Ako je  $\Omega = 1$ , svemir će se širiti beskonačno dugo, ali brzinom koja naginje prema 0. Geometrija svemira je plosnata (euklidska geometrija) a svemir je otvoren.
- Ako je  $\Omega < 1$ , galaksije će biti sklone tome da se udaljuju sve više i više, čak i kad svemir bude beskonačno velik i razrijeđen. Geometrija svemira je hiperbolična a svemir je otvoren.

Izgleda da trenutna mjerenja daju rezultat  $\Omega = 1$ .

Jedna od najkompliciranijih stvari za shvatiti jest prema kojoj točki se svemir širi. Predstaviti ćemo jednu analogiju: zamislimo prostor kao rastezljivu gumicu na kojoj se nalaze, na različitim udaljenostima, oznake koje simuliraju pozicije galaksija. Kada gumicu pridržavamo za krajeve, udaljenost među tim oznakama raste, dapače, ako promatramo samo jednu od njih, udaljenost od drugih je sve veća. Ako promijenimo točku gledišta i dalje stoji da se udaljenost između oznaka s nove točke povećava. Možemo zaključiti da ne postoji privilegirana oznaka u odnosu na koju se kreću svi ostali, već sve vide jednako sve oznake kako se udaljuju. Da svatko vidi druge oznake kako se kreću po istom zakonu moguće je dokazati istim zakonom<sup>12</sup>. U našem svemiru, ne samo da se galaksije (oznake) kreću u prostoru (gumica), nego se i sam prostor širi (ili se smanjuje, ovisno o modelu).

---

<sup>12</sup> Analogija ne funkcionira, očito, ukoliko u obzir uzimamo krajeve. Svemir moramo smatrati beskonačnim, bez granice.



Slika 1.7 - Friedmanovi modeli

Prema Friedmanovim modelima, postoji jedna teorija o početku svemira; Hubbleova konstanta ima dimenzije recipročne nekom vremenu te stoga  $\tau = 1/H_0$  ima dimenzije vremena koje se naziva *Hubbleovo vrijeme* a predstavlja dob koju bi svemir trebao imati danas ako se oduvijek širio istom brzinom. Trenutna vrijednost je  $\tau = 4,35 \cdot 10^{17} \text{ s} = 1,38 \cdot 10^{10}$  godina.

### 1.3.3 Model Velikog praska

Negdje 1940. George Gamow postavlja temelje za teoriju poznatu pod nazivom *Big Bang* (Veliki prasak), koja označava nastanak svemira. On je istraživao područja svemira koja su bila dovoljno vruća jer postoji mogućnost da je tamo došlo do nuklearnih reakcija koje su vodile ka stvaranju kemijskih elemenata. Bilo mu je jasno da se sve to moglo odvijati u vrijeme kada je materija bila puno više zbijena nego danas te stoga, ako idemo u prošlost, dolazimo do nastanka svemira. Njegovi izračuni su doduše, doveli do zaključka da je od vodika mogao nastati samo helij, ne i ostali elementi. Nakon njega, Fred Hoyle je otkrio da su teži kemijski elementi vjerojatno nastali unutar zvijezda. Zahvaljujući današnjim teorijama o elementarnim česticama možemo opisati prve trenutke postojanja svemira. Teorija Velikog praska nije u mogućnosti opisati početni trenutak, već samo na

koji se način svemir razvio do ovoga što poznajemo danas; nije idealno opisivati svemir niti njegove dimenzije u početnim trenucima uz pomoć opće relativnosti, kad je skala svemira bila usporediva s dimenzijama elementarnih čestica, na tzv. Plackovoj duljini ( $10^{33}$  cm), odnosno, kada je svemir bio star  $10^{-43}$  sekundi. Iako je najbolji kandidat teorija struna, još uvijek ne raspoložemo teorijom koja bi bila u mogućnosti eliminirati ove poteškoće, a trenutno je teško i predvidjeti u kojem će se smjeru razvijati.

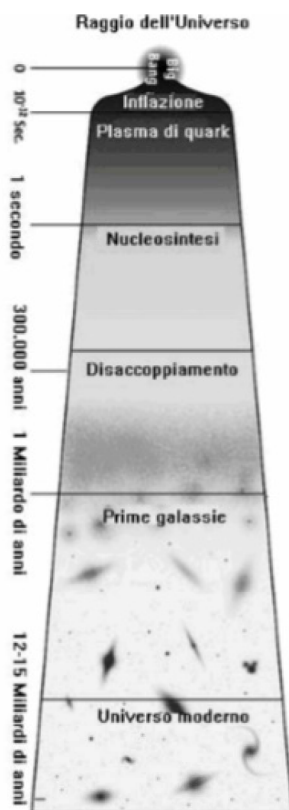
Najvećim uspjehom Teorije Velikog praska smatra se mogućnost objašnjenja velike količine elemenata: u djeliću sekunde nakon Velikog praska, svemir je bio poput “juhe” pune kvarkova, leptona i fotona, ali već nakon jedne sekunde života formirali su se protoni i neutroni (sastavljeni od kvarkova). Nekoliko minuta, dok temperatura i gustoća nisu dosegle određenu razinu, serijom nuklearnih reakcija nastao je helij te, u mnogo manjim količinama, drugi lakši elementi. Zastupljenost elemenata predviđena Teorijom Velikog praska u skladu je s proučavanjima koja pokazuju da je najrašireniji element u svemiru vodik (75%), zatim helij (25%), a teži elementi predstavljaju tek neznatan djelić sveukupne gustoće. Nastavkom širenja te posljedičnim smanjenjem gustoće i temperature, primordijalna nukleosinteza se zaustavila: najteži elementi koje na Zemlji možemo pronaći u izobilju nastali su nuklearnim fuzijama unutar zvijezda. Prve zvijezde su bile jako masivne i velikom su brzinom trošile vlastito nuklearno gorivo, a kada bi eksplodirale u supernove po međuzvjezdanom prostoru bi se širili teški elementi koje su one same sintetizirale; ti elementi kasnije su završili kao plinovi u kojima su, zbog gravitacijskog stezanja, nastale druge zvijezde, kao što je naše Sunce.

Nakon nukleosinteze, dogodio se još jedan događaj važan za utvrđivanje vjerodostojnosti Velikog praska. Otprilike 300 000 godina nakon početnog trenutka, temperatura se spustila sve do nekoliko tisuća stupnjeva, pa su se protoni i elektroni mogli vezati u stabilno stanje i tako formirati atome vodika; samo što su se sad fotoni počeli slobodno širiti u prostoru te Svemir postaje transparentan: radi se o tzv. trenutku *razdvajanja*. Širenjem se duljina valova fotona malo po malo povećavala dok se, istovremeno, njihova energija smanjivala: mi danas se nalazimo i dalje uronjeni u beskrajn svemirski ocean prepun fotona, čija je temperatura tek 2, 73 stupnja iznad apsolutne nule. Radi se o tzv. pozadinskom kozmičkom zračenju koje su 1965. otkrili Wilson i Penzias; uspješna opažanja, točnije ona iz NASA-inog satelita COBE (COsmic Background Explorer),

potvrdila su da se radi o obilježjima koja su predviđena Teorijom Velikog praska. Čak su i nedavna teleskopska istraživanja dalekih plinskih oblaka (dakle, jako starih) pokazala da, kada je svemir bio star tek nekoliko milijardi godina, temperatura pozadinskog zračenja bila je viša od trenutne temperature, kao što pretpostavlja Teorija Velikog praska.

#### 1.3.4 - Osim Velikog praska

Bez obzira na brojne uspjehe, teorija Velikog praska ostavlja nas bez odgovora na neka od ključnih pitanja. Na primjer, ne objašnjava koji je razlog fluktuacija gustoće zbog kojih su nastale galaksije; zašto je temperatura pozadinskog zračenja koja proizlazi iz dijelova neba koji su smješteni na suprotnim stranama toliko slična, s obzirom da ta područja nikad nisu mogla biti ni u kakvoj komunikaciji; zašto je gustoća toliko slična (ako ne i ista) kritičnoj gustoći ( $\Omega - 1$ ).



Slika 1.8 - Glavne etape u evoluciji svemira

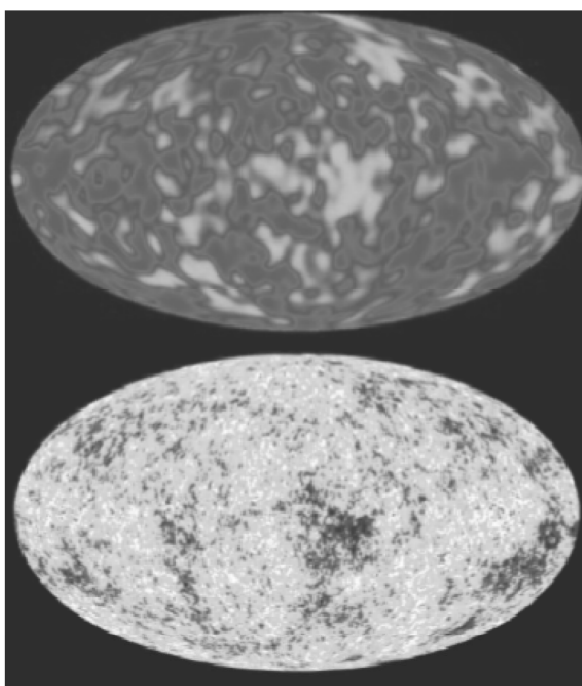
Na ova i druga pitanja moguće je odgovoriti ukoliko brzina razvijanja svemira kroz vrijeme nije bila konstantna; osobito u prvim stadijima postojanja, te jedan kratak period

vremena, širenje je bilo eksponencijalno i odvijalo se znatno brže nego što se to trenutno događa; to se smatra hipotezom *inflacijskog* svemira. U tom slučaju, jedno mikroskopski sitno područje svemira se napuhalo sve dok nije poprimilo oblik trenutne skale svemira. Fluktuacije koje su prisutne u mikroskopskim skalama tako su poprimile makroskopske veličine te uslijed toga dolazi do nehomogenosti iz koje potiču galaksije. Različita područja vidljivog svemira vjerojatno su u prošlosti bila u kontaktu i to bi objasnilo visoku razinu homogenosti pozadinskog kozmičkog zračenja. Štoviše, veoma brzo širenje geometriju svemira učinilo je ravnom. Ovaj fenomen dao bi se pojasniti određenom analogijom: razmotrimo površinu lopte: jasno je da nam izgleda zakrivljena ali ako zamislimo da bismo loptu išli napuhati toliko dok ne bude iste veličine kao Zemlja, njezina zakrivljenost više nije odmah primjetna golim okom (ljudi nisu bez razloga toliko dugo vjerovali da je Zemlja ravna). Nadalje, pretpostavlja se da je u početku postojala samo jedna temeljna sila; kako se temperatura smanjivala, svemir je vjerojatno prolazio kroz prijelazna razdoblja tijekom kojih se prvo odvojila gravitacijska sila, zatim jaka nuklearna sila i naposljetku, elektromagnetna i slaba nuklearna sila. Na slici 1.8 sintetizirane su početne faze evolucije svemira.

Iako mehanizam koji je doveo do fluktuacije nije u potpunosti jasan, danas se misli da se radi o više od tek teorije i da se vidljivi svemir podudara s njom.

#### 1.3.5 - Tamna tvar i tamna energija

Kao što smo već spomenuli, temperatura pozadinskog zračenja izrazito je izotropna, odnosno, njena vrijednost ostaje gotovo jednaka u kojem god smjeru da se mjeri. To sačinjava potvrdu hipoteze da je materija svemira raspodijeljena jednako: u suprotnom, da je u periodu razdvajanja materija bila jako nehomogena, bile bi se dogodile značajne fluktuacije temperature pozadinskog zračenja.

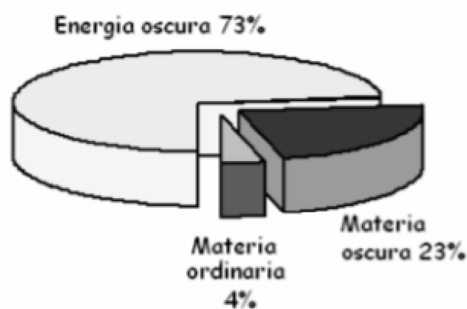


Slika 1.9 - Karte neba prikazuju varijacije temperature kozmičkog pozadinskog zračenja, izmjerene NASA-inim satelitima COBE 1992. (iznad) godine i WMAP 2003.godine (ispod).

Kao što je već spomenuto, svemir koji promatramo ne čini se niti malo homogen: galaksije se nalaze u grupama i skupovima; štoviše, proučavaju se još veće i kompleksnije strukture, kao velike rupe, praznine i veliki zidovi galaksija, na skalama udaljenosti od nekih 100 milijuna svjetlosnih godina. Neizbježna je pretpostavka da su, u razdoblju razdvajanja, postojale sitne fluktuacije gustoće u primordijalnom plinu. To su bile zone u kojima je gustoća bila malo viša te je izvođenje superiornog gravitacijskog privlačenja progresivno uključilo okolnu materiju sve dok se nisu formirale zvijezde i galaksije, u procesu koji je trajao nekoliko stotina milijuna godina. Svojedobno, fluktuacije gustoće stvorile su male fluktuacije pri temperaturi pozadinskog zračenja, koje su otkrili sateliti COBE i WMAP (vidi sliku 1.9). Doduše, radi se o varijacijama od tek stotinke tisućinke u odnosu na prosječnu temperaturu, a čak 15 milijardi godina očigledno nije bilo dovoljno kako bi se formirale galaksije i druge promatrane strukture. Treba imati na umu da se gravitacija suprotstavlja širenju, koje usporava proces gravitacijskog rasta materije.



Moguće je da su fluktuacije gustoće tamne tvari koje su postojale u ranom svemiru bile dovoljno velike kako bi se iz njih formirale strukture koje danas promatramo bez da se poremeti izotropija temperature pozadinskog kozmičkog zračenja. Osim toga, prisutnost tamne tvari utječe na geometriju prostora i na sudbinu svemira. Zapravo, kao što smo vidjeli, što je gustoća svemira veća, gravitacijska sila koja usporava širenje je veća. Posljednje studije i promatranja pokazuju da je gustoća tvari (bilo da se radi o tamnoj ili običnoj tvari) puno niža od kritične gustoće. Analize rezultata američko-talijanskog eksperimenta *Boomerang* (promatranja koja je zabilježio teleskop na rubu lopte koja je letjela na visini od 38 km iznad Antarktike) i satelita WMAP, uvjerljivo pokazuju da fluktuacije pozadinskog zračenja imaju karakteristike koje bi, po svim očekivanjima, trebao imati svemir čija je gustoća jednaka kritičnoj gustoći, to jest, svemir koji bi trebao imati ravnu geometriju. Ali ako je gustoća tvari (bilo da se radi o svijetloj bilo o tamnoj) tek nešto viša od četvrtine kritične gustoće, što je to što se nalazi u preostalih  $\frac{3}{4}$  gustoće svemira?



Slika 1.10 - Struktura svemira prema rezultatima svemirske sonde WMAP

Informacija koja je od koristi pri traženju odgovora na ovo pitanje dolazi nam od promatranja udaljenih supernova koje nam naznačuju da se širenje svemira ubrzava a ne

usporava. To ubrzanje se događa radi repulzivne sile (koju jedni kozmolozi nazivaju kozmološkom konstantom a drugi kvintesencijom) koja svojom gustoćom energije pridonosi ukupnoj gustoći svemira (prisjetimo se da su u relativnosti tvar i energija jednake). S gledišta fizike, smatra se da do ovog efekta dolazi zbog energije praznine. U modernoj fizici prazni prostor ne odgovara niti malo filozofskoj ništici; tamo se, zahvaljujući Heisenbergovom načelu neodređenosti, pojavljuju i nestaju kopije čestica i antičestica koje su virtualne, ali koje imaju stvarne efekte: upravo zahvaljujući njima praznina može imati gustoću energije koja nije nula te stvarati gravitacijski efekt. Iznenadujući efekt ovih istraživanja (još uvijek u razvitku) jest da svemirom ne dominira tvar, a pogotovo ne tamna tvar još uvijek nepoznatih oblika, već energija praznog prostora! Danas se radi o sljedećim postocima: 73% tamne energije, 23% tamne tvari i samo 4% obične tvari; čini se da je, u ovom trenutku, sudbina našeg svemira ta da se širi bez kraja.

### 1.3.6 - Antropsko načelo

Posljednjih godina postepeno se potvrđuje ideja da sama činjenica našeg postojanja uključuje da temeljne konstante prirode ne mogu imati jako različite vrijednosti od onih izmjerenih. Kada bi, na primjer, gravitacijska konstanta  $G$  bila samo malo veća, gravitacija bi bila jača, a na zvijezdama ne bi postojala ravnoteža između gravitacije i tlaka nuklearnih reakcija: u tom slučaju bi se krenule urušavati sve dok ne bi nastale crne rupe. Kada bi, u protivnom,  $G$  bila manja, ne bi bilo moguće sastavljanje prvotne materije iz koje se formiraju galaksije. Za svaku od prirodnih konstanti moglo bi se ponoviti analogno mišljenje i rezultat bi uvijek bio taj da svemir kojeg poznajemo, i u kojem su nastale zvijezde, planeti i sam život, na veoma delikatan način ovisi o točnoj vrijednosti tih konstanti. Ovo se naziva *antropskim načelom*. Kako bi se objasnio problem vrijednosti fizičkih konstanti, nedavno su predložena tri rješenja. 1) Priroda je odredila vrijednosti konstanti fizičkih zakona sasvim slučajno; mogle su biti određene druge vrijednosti, ali se dogodilo to da su upravo ove bile ispravne za razvoj inteligentnih oblika života. 2) Postoji bog koji je svojevolumeno odredio ove vrijednosti a ne neke druge kako bi omogućio razvitak života. 3) Naš svemir nije jedini, postoje beskonačno mnogo drugih svemira u


kojima su konstante različite; u velikoj većini tih svemira ne postoje uvjeti prilagođeni razvoju života.

Jasno je da je teško prihvatiti iti jedno od ovih rješenja; posljednjih godina rodile su se različite teorije ali do sada niti jedna nije dovoljno uvjerljiva da bi bila prihvaćena. Unatoč svim našim saznanjima i dalje ostaju mnoga značajna pitanja na koja koja znanost ne zna dati znanstveni odgovor.


#### 4. SCHEDE TERMINOLOGICHE

1.

<b>Termine</b>	galassia
<b>Categoria morfosintattica</b>	sostantivo, f, sing
<b>Status</b>	convalidato
<b>Dominio</b>	fisica
<b>Sottodomini(o)</b>	astronomia/astrofisica
<b>Definizione (+ fonte)</b>	Sistema formato da un gran numero di stelle (da $\sim 10^8$ a $\sim 10^{11}$ ) e, in generale, da nubi di gas e di polveri. ( <a href="http://www.treccani.it/enciclopedia/galassia/">http://www.treccani.it/enciclopedia/galassia/</a> )
<b>Relazioni tra i termini: iperonimo</b>	universo
<b>Relazioni tra i termini: iponimo</b>	protogalassia metagalassia galassia ellittica galassia spirale
<b>Relazioni tra i termini: antonimo</b>	/
<b>Sinonimo</b>	sistema stellare, sistema di stelle
<b>Collocazioni</b>	diametro di galassia
<b>Contesto/i + fonte</b>	Una differenza non piccola, che serve a comprendere quanto più incerta possa essere la valutazione del diametro di una galassia lontana, non 2,5 milioni di anni luce come Andromeda, ma 2,5 miliardi di anni luce o più. ( <a href="https://spazio-tempo-luce-energia.it/le-galassie-pi%C3%B9-grandi-1-4-afe9e2f6a6dc">https://spazio-tempo-luce-energia.it/le-galassie-pi%C3%B9-grandi-1-4-afe9e2f6a6dc</a> )
<b>Note tecniche (linguistiche, pragmatiche, enciclopediche)</b>	/
<b>Equivalente/i traduttivo/i</b>	galaksija
<b>Affidabilità</b>	***

<b>Illustrazione/i (+ fonte)</b>	 <p>(<a href="https://geek.hr/znanost/clanak/konacno-otkriveno-kojeg-je-oblika-mljecna-staza/">https://geek.hr/znanost/clanak/konacno-otkriveno-kojeg-je-oblika-mljecna-staza/</a>)</p>
----------------------------------	---

<b>Naziv</b>	galaksija
<b>Jezična odrednica</b>	imenica, ž, jd
<b>Status</b>	odobren
<b>Razredba</b>	fizika
<b>Podrazredba</b>	astronomija/astrofizika
<b>Definicija (+ izvor)</b>	Gravitacijski povezan i zatvoren skup zvijezda, zvjezdanih skupova, međuzvezdane tvari i planeta te nevidljive tvari ( <a href="http://struna.ihj.hr/naziv/galaksija/21013/#naziv">http://struna.ihj.hr/naziv/galaksija/21013/#naziv</a> )
<b>Nadređeni naziv</b>	svemir
<b>Podređeni naziv</b>	aktivna galaksija eliptična galaksija spiralna galaksija zvjezdorodna galaksija
<b>Antonimi</b>	/
<b>Sinonimi</b>	galaktika
<b>Kolokacije</b>	promjer galaksije masa galaksije

	središte galaksije
<b>Kontekst (+ izvor)</b>	Astronomi su ovog tjedna službeno objavili da se u središtu galaksije pod imenom Fornax UCD3 nalazi supermasivna crna rupa. ( <a href="https://www.tportal.hr/tehnolo/clanak/srediste-ove-sicusne-galaksije-u-sebi-krije-supermasivnu-tajnu-20180820">https://www.tportal.hr/tehnolo/clanak/srediste-ove-sicusne-galaksije-u-sebi-krije-supermasivnu-tajnu-20180820</a> )
<b>Napomene (jezične, uporabne, enciklopedijske)</b>	/
<b>Istovrijednica</b>	galassia
<b>Vjerodostojnost</b>	***
<b>Ilustracija/e (+izvor)</b>	 ( <a href="https://geek.hr/znanost/clanak/konacno-otkriveno-kojeg-je-oblika-mlijecna-staza/">https://geek.hr/znanost/clanak/konacno-otkriveno-kojeg-je-oblika-mlijecna-staza/</a> )

2.

<b>Termine</b>	quark
<b>Categoria morfosintattica</b>	sostantivo, m, sing
<b>Status</b>	convalidato
<b>Dominio</b>	fisica
<b>Sottodomini(o)</b>	fisica generale e classica
<b>Definizione (+ fonte)</b>	Costituente fondamentale di protoni, neutroni e di tutti gli adroni osservati. Si conoscono 6 tipi o sapori di quark: tre di tipo up con carica elettrica $+2/3$ e tre di tipo down con carica

	<p>elettrica <math>-1/3</math>. Ogni sapore di quark ha massa diversa, e le masse sono distribuite in un ampio intervallo, tra il più leggero al più pesante.</p> <p>(<a href="http://www.treccani.it/enciclopedia/quark_%28Enciclopedia-della-Scienza-e-della-Tecnica%29/">http://www.treccani.it/enciclopedia/quark_%28Enciclopedia-della-Scienza-e-della-Tecnica%29/</a>)</p>
<b>Relazioni tra i termini: iperonimo</b>	particella elementare
<b>Relazioni tra i termini: iponimo</b>	<p><i>quark up</i> (quark su o salita)</p> <p><i>quark down</i> (quark giù o discesa)</p> <p><i>quark strange</i> (quark strano o sbieco)</p> <p><i>quark charm</i> (quark incanto)</p> <p><i>quark bottom</i> (quark basso o bellezza)</p> <p><i>quark top</i> (quark alto o verità)</p>
<b>Relazioni tra i termini: antonimo</b>	/
<b>Sinonimo</b>	/
<b>Collocazioni</b>	<p>coppie quark - antiquark</p> <p>linee dei quark</p>
<b>Contesto/i + fonte</b>	<p>In una interazione fortemente inelastica si possono formare anche coppie <b>quark</b>- antiquark dello stesso sapore e l'interazione elettromagnetica ha lo stesso accoppiamento per <b>quark</b> e per antiquark. (S. Ruggerini, Silvia Arroyo Camejo, 2008)</p>
<b>Note tecniche (linguistiche, pragmatiche, enciclopediche)</b>	<p>I quarks, ad oggi considerati particelle elementari, cioè indivisibili, sono uno dei mattoni fondamentali delle particelle sub-atomiche. Il nome quark è l'abbreviazione di qu(estion) (m)ark, "punto interrogativo"; termine usato per la prima volta dal fisico americano Murray Gell-Mann nel 1964, tratto, senza alcun apparente motivo, da un passo del romanzo di James Joyce "Finnigans Wake", del 1939. La parola quark faceva parte della frase "three quarks for Muster Mark". Queste particelle rappresenterebbero i mattoni fondamentali di cui è costituita la <a href="#">materia</a>, e il loro comportamento è descritto dalla teoria della cromodinamica quantistica (il termine cromodinamica deriva dal fatto che ai quark si attribuiscono delle caratteristiche fisiche intrinseche che vengono chiamate simbolicamente "colori").</p> <p>(<a href="http://www.castfvg.it/zzz/ids/quark.html">http://www.castfvg.it/zzz/ids/quark.html</a>)</p>
<b>Equivalente/i traduttivo/i</b>	kvark

<b>Affidabilità</b>	***
<b>Illustrazione/i (+ fonte)</b>	/

<b>Naziv</b>	kvark
<b>Jezična odrednica</b>	imenica, m, jd
<b>Status</b>	odobren
<b>Razredba</b>	fizika
<b>Podrazredba</b>	opća i klasična fizika
<b>Definicija (+ izvor)</b>	elementarna čestica, sastavnica <a href="#">hadrona</a> , električnog naboja $\pm e/3$ ili $\pm 2e/3$ , podložna <a href="#">jakom međudjelovanju</a> . ( <a href="https://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=34882">https://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=34882</a> )
<b>Nadređeni naziv</b>	elementarna čestica
<b>Podređeni naziv</b>	vršni kvark strani kvark gornji kvark dubinski kvark donji kvark čarobni kvark
<b>Antonimi</b>	/
<b>Sinonimi</b>	/
<b>Kolokacije</b>	slobodni kvarkovi kvarkovska struktura masa kvarka
<b>Kontekst (+ izvor)</b>	Zbog specifičnih svojstava jake sile kvarkovi se ne nalaze u prirodi slobodni već samo u vezanim stanjima dva ili tri kvarka koje nazivamo <i>hadroni</i> i među koje spadaju proton, neutron, pion, kaon itd. Tek u vrlo snažnim sudarima hadrona nedvojbeno se manifestira njihova kvarkovska struktura. ( <a href="http://www.phy.pmf.unizg.hr/~kkumer/top/top.html">http://www.phy.pmf.unizg.hr/~kkumer/top/top.html</a> )



<b>Napomene (jezične, uporabne, enciklopedijske)</b>	Na maloj međusobnoj udaljenosti (manjoj od 10–15 m) kvarkovi se gibaju kao slobodne čestice, a na većim udaljenostima djeluju iznimno velikim privlačnim silama te se zbog toga ne mogu izdvojiti iz hadrona kao zasebne čestice. ( <a href="https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=34882">https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=34882</a> )
<b>Istovrijednica</b>	kvark
<b>Vjerodostojnost</b>	***
<b>Ilustracija/e (+izvor)</b>	/

3.

<b>Termine</b>	radiazione
<b>Categoria morfosintattica</b>	sostantivo, f, sing
<b>Status</b>	convalidato
<b>Dominio</b>	fisica
<b>Sottodomini(o)</b>	astronomia/astrofisica
<b>Definizione (+ fonte)</b>	Energia che si propaga per onde (r. ondulatoria) o per corpuscoli (r. corpuscolare) e anche il fenomeno stesso dell'emissione, dell'irradiazione di tale energia. ( <a href="http://www.treccani.it/enciclopedia/radiazione">http://www.treccani.it/enciclopedia/radiazione</a> )
<b>Relazioni tra i termini: iperonimo</b>	/
<b>Relazioni tra i termini: iponimo</b>	radiazione ondulatoria radiazione corpuscolare radiazione luminosa radiazione cosmica di fondo radiazione sonora radiazione termica
<b>Relazioni tra i termini: antonimo</b>	/
<b>Sinonimo</b>	irradiazione irradiazione irraggiamento

<b>Collocazioni</b>	sorgente della radiazione effetto della radiazione natura della radiazione
<b>Contesto/i + fonte</b>	Sorgenti di <b>radiazione</b> ottica Il sole rappresenta la sorgente naturale di <b>radiazione</b> ottica e come tale va considerato in tutte quelle attività lavorative che costringono all'aperto per molte ore diurne. ( <a href="https://educalingo.com/it/dic-it/radiazione">https://educalingo.com/it/dic-it/radiazione</a> )
<b>Note tecniche (linguistiche, pragmatiche, enciclopediche)</b>	In fisica, il termine radiazione viene generalmente utilizzato per indicare un insieme di fenomeni caratterizzato dal trasporto di energia nello spazio. Tipici esempi di radiazioni sono la luce ed il calore. ( <a href="https://educalingo.com/it/dic-it/radiazione">https://educalingo.com/it/dic-it/radiazione</a> )
<b>Equivalente/i traduttivo/i</b>	zračenje
<b>Affidabilità</b>	***
<b>Illustrazione/i (+ fonte)</b>	<p>(<a href="http://www.free-astronomy.com/2019/01/la-radiazione-cosmica-di-fondo.html">http://www.free-astronomy.com/2019/01/la-radiazione-cosmica-di-fondo.html</a>)</p>

<b>Naziv</b>	zračenje
<b>Jezična odrednica</b>	imenica, sr, jd
<b>Status</b>	odobren
<b>Razredba</b>	fizika
<b>Podrazredba</b>	astronomija/astrofizika
<b>Definicija (+ izvor)</b>	prijenos energije elektromagnetskim valovima ili česticama ( <a href="http://struna.ihj.hr/naziv/zracenje/4664/#naziv">http://struna.ihj.hr/naziv/zracenje/4664/#naziv</a> )
<b>Nadređeni naziv</b>	/
<b>Podređeni naziv</b>	toplinsko zračenje elektromagnetsko zračenje ionizirajuće zračenje radioaktivno zračenje rendgensko zračenje
<b>Antonimi</b>	/
<b>Sinonimi</b>	isijavanje radijacija
<b>Kolokacije</b>	liječenje zračenjem gustoća zračenja zračenje užarenih tijela
<b>Kontekst (+ izvor)</b>	<i>Emisijski spektar</i> koji nastaje raščlanjivanjem (npr. s pomoću <a href="#">prizme</a> ili <a href="#">optičke rešetke</a> ) emitiranoga zračenja užarenih tijela karakterističan je za fizikalna i kemijska svojstva izvora zračenja. ( <a href="https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=57368">https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=57368</a> )
<b>Napomene (jezične, uporabne, enciklopedijske)</b>	/
<b>Istovrijednica</b>	radiazione
<b>Vjerodostojnost</b>	***

**Illustracija/e (+izvor)**

(<http://www.free-astronomy.com/2019/01/la-radiazione-cosmica-di-fondo.html>)

4.

<b>Termine</b>	magnitudine
<b>Categoria morfosintattica</b>	sostantivo, f, sing
<b>Status</b>	convalidato
<b>Dominio</b>	fisica
<b>Sottodomini(o)</b>	astronomia/astrofisica
<b>Definizione (+ fonte)</b>	In astronomia, numero che esprime la luminosità di un oggetto celeste, decrescenti di luminosità; ( <a href="http://www.treccani.it/vocabolario/magnitudine">http://www.treccani.it/vocabolario/magnitudine</a> )
<b>Relazioni tra i termini: iperonimo</b>	/
<b>Relazioni tra i termini: iponimo</b>	magnitudine assoluta magnitudine apparente magnitudine visuale magnitudine bolometrica magnitudine fotoelettrica

<b>Relazioni tra i termini: antonimo</b>	/
<b>Sinonimo</b>	Grandezza stellare
<b>Collocazioni</b>	Prima magnitudine Seconda magnitudine Avere la magnitudine di
<b>Contesto/i + fonte</b>	/
<b>Note tecniche (linguistiche, pragmatiche, enciclopediche)</b>	/
<b>Equivalente/i traduttivo/i</b>	magnituda
<b>Affidabilità</b>	***
<b>Illustrazione (+ fonte)</b>	/

<b>Naziv</b>	magnituda
<b>Jezična odrednica</b>	imenica, ž, jed
<b>Status</b>	odobreno
<b>Razredba</b>	fizika
<b>Podrazredba</b>	astronomija/astrofizika
<b>Definicija (+ izvor)</b>	Broj koji opisuje <a href="#">sjaj</a> nebeskog objekta. Sustav magnituda temelji se na podjeli zvijezda prema sjaju na šest skupina koju je prvi učinio <a href="#">Hiparh iz Nikeje</a> . Najsajnije zvijezde bile su označene kao zvijezde 1. magnitude, a zvijezde najmanjega sjaja, koje se još mogu vidjeti golim okom, kao zvijezde 6. magnitude. ( <a href="https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=67563">https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=67563</a> )
<b>Nadređeni naziv</b>	/
<b>Podređeni naziv</b>	prividna magnituda apsolutna magnituda vizualna magnituda

	fotografska magnituda fotovizualna magnituda bolometrijska magnituda magnituda potresa
<b>Antonimi</b>	/
<b>Sinonimi</b>	zvjezdana veličina
<b>Kolokacije</b>	skale magnitude imati magnitudu određivanje magnitude sustav magnituda
<b>Kontekst (+ izvor)</b>	Sustav magnituda temelji se na podjeli zvijezda prema sjaju na šest skupina koju je prvi učinio <a href="https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=67563">Hiparh iz Nikeje</a> . ( <a href="https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=67563">https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=67563</a> )
<b>Napomene (jezične, uporabne, enciklopedijske)</b>	/
<b>Istovrijednica</b>	magnitudine
<b>Vjerodostojnost</b>	***
<b>Ilustracija/e (+izvor)</b>	/

5.

<b>Termine</b>	luminosità
<b>Categoria morfosintattica</b>	sostantivo, f, sing
<b>Status</b>	convalidato
<b>Dominio</b>	fisica
<b>Sottodomini(o)</b>	astronomia/astrofisica
<b>Definizione (+ fonte)</b>	In astronomia, <i>l. assoluta</i> (o <i>intrinseca</i> ) di un astro, il flusso

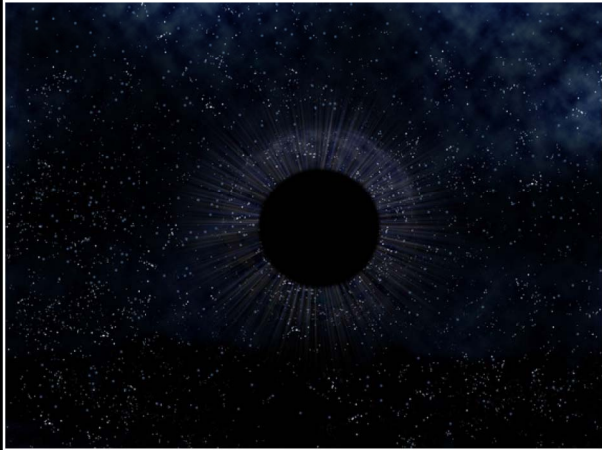
	energetico integrale irradiato dall'astro, misurato dalla grandezza assoluta bolometrica dell'astro; <i>l. apparente</i> , la brillantezza luminosa dell'astro quale esso ci appare, misurata dalla grandezza apparente visuale. ( <a href="http://www.treccani.it/vocabolario/luminosita/">http://www.treccani.it/vocabolario/luminosita/</a> )
<b>Relazioni tra i termini: iperonimo</b>	/
<b>Relazioni tra i termini: iponimo</b>	luminosità assoluta luminosità apparente
<b>Relazioni tra i termini: antonimo</b>	/
<b>Sinonimo</b>	brillantezza
<b>Collocazioni</b>	luminosità di un corpo celeste misurare la luminosità classi di luminosità livelli di luminosità calcolare la luminosità
<b>Contesto/i + fonte</b>	Le classi di luminosità possono invece inserirsi in un grafico bidimensionale, in cui siano correlate temperatura (o se volete tipo spettrale) e la luminosità (o la <a href="https://www.astronomia.com/risorse/approfondimenti/classifichiamo-le-stelle/classi-spettrali-e-classi-di-luminosita/">magnitudine</a> assoluta o indirettamente il diametro). ( <a href="https://www.astronomia.com/risorse/approfondimenti/classifichiamo-le-stelle/classi-spettrali-e-classi-di-luminosita/">https://www.astronomia.com/risorse/approfondimenti/classifichiamo-le-stelle/classi-spettrali-e-classi-di-luminosita/</a> )
<b>Note tecniche (linguistiche, pragmatiche, enciclopediche)</b>	Ipparco realizzò un catalogo stellare in cui inserì circa 1080 stelle <sup>1</sup> , di cui registrò la posizione sulla sfera celeste. Ipparco classificò la luminosità delle stelle in sei classi. Alla prima appartenevano le stelle di prima grandezza, al secondo gruppo quelle un po' più deboli, e così via fino al sesto gruppo, al quale appartenevano le stelle più deboli visibili in una notte serena senza Luna da un uomo dalla vista perfetta. ( <a href="http://webusers.fis.uniroma3.it/bernieri/pdf/Magnitudini_1.pdf">http://webusers.fis.uniroma3.it/bernieri/pdf/Magnitudini_1.pdf</a> )
<b>Equivalente/i traduttivo/i</b>	luminoznost
<b>Affidabilità</b>	***
<b>Illustrazione/i (+ fonte)</b>	/

<b>Naziv</b>	luminoznost
<b>Jezična odrednica</b>	imenica, ž, jed
<b>Status</b>	odobreno
<b>Razredba</b>	fizika
<b>Podrazredba</b>	astronomija/astrofizika
<b>Definicija (+ izvor)</b>	Energija koju zrači svemirski objekt (npr. zvijezda ili galaktika) u jedinici vremena. Najčešće se mjere vizualni sjaj (snaga zračenja u području vidljive svjetlosti) i bolometrijski sjaj (snaga zračenja svih elektromagnetskih valova ili valova nekih određenih valnih duljina). Mjerna jedinica sjaja jest vat (W), no često se sjaj svemirskih objekata uspoređuje sa sjajem Sunca $L_{\odot}$ . ( <a href="https://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=70218">https://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=70218</a> )
<b>Nadređeni naziv</b>	/
<b>Podređeni naziv</b>	luminoznost zvijezda apsolutna luminoznost
<b>Antonimi</b>	/
<b>Sinonimi</b>	luminozitet sjaj snaga zračenja
<b>Kolokacije</b>	relacija masa-luminozitet promjene luminoziteta
<b>Kontekst (+ izvor)</b>	/
<b>Napomene (jezične, uporabne, enciklopedijske)</b>	/
<b>Istovrijednica</b>	luminosità
<b>Vjerodostojnost</b>	***
<b>Ilustracija/e (+izvor)</b>	/

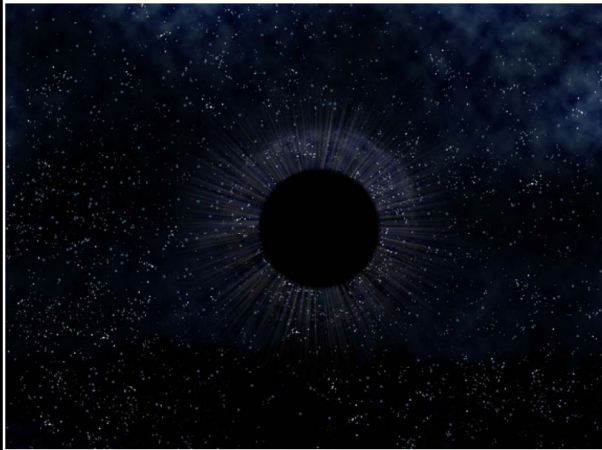


6.

<b>Termine</b>	materia oscura
<b>Categoria morfosintattica</b>	sintagma costruito da: sostantivo, f, sing + aggettivo qualificativo
<b>Status</b>	convalidato
<b>Dominio</b>	fisica
<b>Sottodomini(o)</b>	astronomia/strofisica
<b>Definizione (+ fonte)</b>	In astronomia, ogni forma di materia presente nell'Universo che non emetta radiazione elettromagnetica di alcun tipo, o che ne emetta con intensità non rilevabile dagli strumenti. La sua presenza è valutata indirettamente dagli effetti gravitazionali sul moto di stelle e galassie. Si presume che la m.o. rappresenti ca. il 90% della materia presente nell'Universo. ( <a href="http://www.treccani.it/enciclopedia/materia-oscura">http://www.treccani.it/enciclopedia/materia-oscura</a> )
<b>Relazioni tra i termini: iperonimo</b>	materia cosmica
<b>Relazioni tra i termini: iponimo</b>	materia oscura barionica materia oscura non barionica
<b>Relazioni tra i termini: antonimo</b>	materia visibile
<b>Sinonimo</b>	/
<b>Collocazioni</b>	il problema della materia oscura la natura della materia oscura la nascita della materia oscura
<b>Contesto/i + fonte</b>	La nascita della Materia Oscura e' profondamente legata ai grandi progressi fatti in Cosmologia, la branca della Fisica che studia la nascita e l'evoluzione del nostro Universo. ( <a href="https://www.lngs.infn.it/it/materia-oscura">https://www.lngs.infn.it/it/materia-oscura</a> )
<b>Note tecniche (linguistiche, pragmatiche,</b>	La materia oscura rappresenta uno dei due principali ingredienti del modello standard, la cui presenza è dimostrata da un gran

<b>enciclopediche)</b>	numero di osservazioni astronomiche. Appare chiaro da queste osservazioni che accanto ad una piccola frazione di materia “non accesa” di tipo convenzionale, il 90% della materia oscura deve trovarsi sotto forma di particelle elementari di grande massa che interagiscono tra loro (e con la materia ordinaria) solo tramite la forza di gravità. ( <a href="http://www.inaf.it/it/campi-di-attivita/galassie-e-cosmologia/3-12019universo-oscuro/materia-oscuro">http://www.inaf.it/it/campi-di-attivita/galassie-e-cosmologia/3-12019universo-oscuro/materia-oscuro</a> )
<b>Equivalente/i traduttivo/i</b>	tamna tvar
<b>Affidabilità</b>	***
<b>Illustrazione/i (+ fonte)</b>	 <p>(<a href="https://www.theatlantic.com/technology/archive/2013/06/youre-interacting-with-dark-matter-right-now/277374/">https://www.theatlantic.com/technology/archive/2013/06/youre-interacting-with-dark-matter-right-now/277374/</a>)</p>

<b>Naziv</b>	tamna tvar
<b>Jezična odrednica</b>	sintagma sastavljena od: opisni pridjev + imenica, ž, jd
<b>Status</b>	odobreno
<b>Razredba</b>	fizika
<b>Podrazredba</b>	astronomija i astrofizika
<b>Definicija (+ izvor)</b>	sastavnica svemira koja ne emitira i ne reflektira dovoljno zračenja da bi ju se moglo izravno opažati. Na postojanje tamne tvari upućuju astronomska opažanja njezinih gravitacijskih učinaka.

	<a href="https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=60339">https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=60339</a>
<b>Nadređeni naziv</b>	materija
<b>Podređeni naziv</b>	barionska tamna tvar nebarionska tamna tvar hladna tamna tvar vruća tamna tvar
<b>Antonimi</b>	vidljiva tvar
<b>Sinonimi</b>	tamna materija
<b>Kolokacije</b>	prevladavajuća tamna tvar čestice tamne tvari
<b>Kontekst (+ izvor)</b>	Unatoč velikom broju hipoteza postavljenih s ciljem objašnjenja koje čestice čine tamnu tvar, samo eksperimenti mogu pokazati koja od njih je točna. ( <a href="https://www.irb.hr/Zavodi/Zavod-za-eksperimentalnu-fiziku/Projekti/Potruga-za-aksionima-i-njima-slicnim-cesticama">https://www.irb.hr/Zavodi/Zavod-za-eksperimentalnu-fiziku/Projekti/Potruga-za-aksionima-i-njima-slicnim-cesticama</a> )
<b>Napomene (jezične, uporabne, enciklopedijske)</b>	/
<b>Istovrijednica</b>	materia oscura
<b>Vjerodostojnost</b>	***
<b>Ilustracija/e (+izvor)</b>	 <a href="https://www.theatlantic.com/technology/archive/2013/06/youre-interacting-with-dark-matter-right-now/277374/">https://www.theatlantic.com/technology/archive/2013/06/youre-interacting-with-dark-matter-right-now/277374/</a>

7.

<b>Termine</b>	nucleosintesi
<b>Categoria morfosintattica</b>	sostantivo, f, sing
<b>Status</b>	convalidato
<b>Dominio</b>	fisica
<b>Sottodomini(o)</b>	astronomia/astrofisica
<b>Definizione (+ fonte)</b>	<p>Processo di formazione di nuovi elementi chimici che ha luogo nelle stelle attraverso le reazioni di fusione nucleare. Dalle stelle, attraverso eventi catastrofici che caratterizzano certe fasi della loro evoluzione (per es., esplosioni di <i>supernova</i>), gli elementi prodotti passano nello spazio interstellare.</p> <p><a href="http://www.treccani.it/enciclopedia/nucleosintesi_%28Enciclopedia-della-Scienza-e-della-Tecnica%29/">(http://www.treccani.it/enciclopedia/nucleosintesi_%28Enciclopedia-della-Scienza-e-della-Tecnica%29/)</a></p>
<b>Relazioni tra i termini: iperonimo</b>	/
<b>Relazioni tra i termini: iponimo</b>	nucleosintesi primordiale nucleosintesi stellare
<b>Relazioni tra i termini: antonimo</b>	/
<b>Sinonimo</b>	/
<b>Collocazioni</b>	processo della nucleosintesi fasi della nucleosintesi

<b>Contesto/i + fonte</b>	Un elemento molto noto del processo s è il Tecnezio ( $^{43}\text{Tc}$ ); un elemento che non ha isotopi stabili, ha un tempo di dimezzamento di milioni di anni e venne usato dall'astronomo Merrill (1952) per provare che il processo di nucleosintesi stellare. ( <a href="https://articolidiastronomia.com/2014/10/26/nucleosintesi/">https://articolidiastronomia.com/2014/10/26/nucleosintesi/</a> )
<b>Note tecniche (linguistiche, pragmatiche, enciclopediche)</b>	La nucleosintesi è un insieme di processi continuamente in atto che trasformano combustibile iniziale (H) in nuclei più grandi. Avviene all'interno di corpi stellari dove sussistono i processi necessari per tali reazioni nucleari. ( <a href="http://www.infonotizia.it/che-cose-la-nucleosintesi-riassunto-di-geochimica/">http://www.infonotizia.it/che-cose-la-nucleosintesi-riassunto-di-geochimica/</a> )
<b>Equivalente/i traduttivo/i</b>	nukleosinteza
<b>Affidabilità</b>	***
<b>Illustrazione/i (+ fonte)</b>	/

<b>Naziv</b>	nukleosinteza
<b>Jezična odrednica</b>	imenica, ž, jd
<b>Status</b>	odobreno
<b>Razredba</b>	fizika
<b>Podrazredba</b>	astronomija/astrofizika
<b>Definicija (+ izvor)</b>	sinteza atomskih jezgra u svemirskim procesima. U prirodi se razlikuje kozmološka <i>prvotna nukleosinteza</i> lakih elemenata, koja se odvijala neposredno nakon <a href="#">velikoga praska</a> , i nukleosinteza koja se u kasnijoj povijesti svemira odvija u <a href="#">zvijezdama</a> . ( <a href="https://enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=44394">https://enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=44394</a> )
<b>Nadređeni naziv</b>	/
<b>Podređeni naziv</b>	prvobitna nukleosinteza nukleosinteza elemenata
<b>Antonimi</b>	/

<b>Sinonimi</b>	/
<b>Kolokacije</b>	nukleosinteza u zvijezdama osnovne reakcije nukleosinteze
<b>Kontekst (+ izvor)</b>	Razumijeti evoluciju zvijezda, osnovnih reakcija nukleosinteze, što uključuje primordijalnu nukleosintezu, nukleosintezu u zvijezdama i procese tijekom evolucije supernove. ( <a href="https://www.isvu.hr/javno/hr/vu119/nasprog/2011/pred84969.shtml">https://www.isvu.hr/javno/hr/vu119/nasprog/2011/pred84969.shtml</a> )
<b>Napomene (jezične, uporabne, enciklopedijske)</b>	/
<b>Istovrijednica</b>	nucleosintesi
<b>Vjerodostojnost</b>	***
<b>Ilustracija/e (+izvor)</b>	/

8.

<b>Termine</b>	parallasse
<b>Categoria morfosintattica</b>	sostantivo, f, sing
<b>Status</b>	convalidato
<b>Dominio</b>	fisica
<b>Sottodomini(o)</b>	fisica generale
<b>Definizione (+ fonte)</b>	angolo che misura la diversa posizione apparente di un corpo osservato da due punti diversi. L'effetto è solitamente sfruttato per determinare, con metodi di → triangolazione, la distanza di un oggetto. L'effetto di parallasse è utilizzato anche dal cervello umano (che valuta la convergenza degli occhi) o da dispositivi elettronici quali telemetri e assume particolare importanza in astronomia, in quanto costituisce un indice della distanza degli astri dalla Terra. ( <a href="http://www.treccani.it/enciclopedia/parallasse_%28Enciclopedia-della-Matematica%29/">http://www.treccani.it/enciclopedia/parallasse_%28Enciclopedia-della-Matematica%29/</a> )

<b>Relazioni tra i termini: iperonimo</b>	/
<b>Relazioni tra i termini: iponimo</b>	parallasse diurna parallasse annua
<b>Relazioni tra i termini: antonimo</b>	/
<b>Sinonimo</b>	/
<b>Collocazioni</b>	errore di parallasse
<b>Contesto/i + fonte</b>	<i>Errore di parallasse</i> , errore accidentale di misurazione che si commette quando si legge una misura, indicata dall'indice di uno strumento su una scala graduata, da una posizione troppo inclinata rispetto alla corretta posizione ortogonale, causato dal fatto che, non giacendo l'indice nello stesso piano su cui è disegnata la scala, esso nella lettura, a seconda della direzione di osservazione, si vede proiettato in punti diversi della scala. <a href="http://www.treccani.it/vocabolario/parallasse/">(http://www.treccani.it/vocabolario/parallasse/)</a>
<b>Note tecniche (linguistiche, pragmatiche, enciclopediche)</b>	/
<b>Equivalente/i traduttivo/i</b>	paralaksa
<b>Affidabilità</b>	***
<b>Illustrazione/i (+ fonte)</b>	/

<b>Naziv</b>	paralaksa
<b>Jezična odrednica</b>	imenica, ž, jd
<b>Status</b>	odobreno
<b>Razredba</b>	fizika
<b>Podrazredba</b>	opća i klasična fizika
<b>Definicija (+ izvor)</b>	prividan pomak tijela u odnosu na pozadinska tijela koji nastaje zbog gibanja promatrača. Objekti koji su bliže promatraču imaju veću paralaksu od objekata koji su na

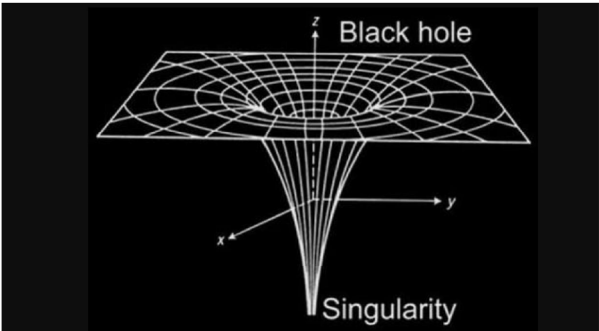
	većoj udaljenosti. U astronomiji se s pomoću dnevne i godišnje paralakse određuju udaljenosti objekta. ( <a href="https://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=46611">https://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=46611</a> )
<b>Nadređeni naziv</b>	/
<b>Podređeni naziv</b>	godišnja (trigonometrijska) paralaksa dnevna paralaksa ekvatorska (horizontska) paralaksa zvjezdana paralaksa
<b>Antonimi</b>	/
<b>Sinonimi</b>	promjena odstupanje
<b>Kolokacije</b>	Metoda paralakse Kut paralakse Određivanje paralakse
<b>Kontekst (+ izvor)</b>	Promatrajući prividni pomak zvijezde na svemirskom svodu tokom šest mjeseci moguće je odrediti tzv. <i>paralaksu</i> te zvijezde tj. kut <i>beta</i> . ( <a href="https://calculon.phy.hr/fizika_svemira/udaljenosti/u-paralaksa.html">https://calculon.phy.hr/fizika_svemira/udaljenosti/u-paralaksa.html</a> )
<b>Napomene (jezične, uporabne, enciklopedijske)</b>	paralaksa (grč.). 1. fiz prividna promjena položaja objekta, uzrokovana promjenom položaja promatrača. 2. astr kut pod kojim se s nekoga nebeskog tijela vidi <a href="#">polumjer</a> Zemlje (dnevna p.), ili kut pod kojim se s nekoga nebeskog tijela vidi polumjer Zemljine staze oko Sunca (godišnja p.). ( <a href="https://www.hrleksikon.info/definicija/paralaksa.html">https://www.hrleksikon.info/definicija/paralaksa.html</a> )
<b>Istovrijednica</b>	parallasse
<b>Vjerodostojnost</b>	***
<b>Ilustracija/e (+izvor)</b>	/

9.

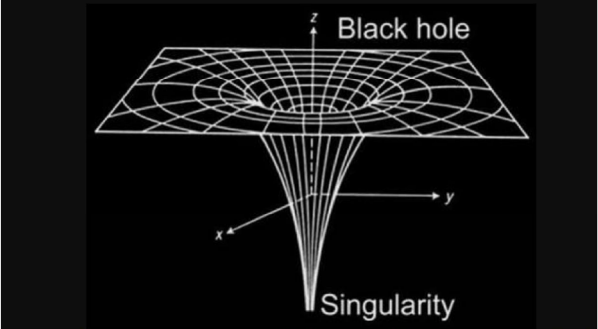
<b>Termine</b>	singularità
<b>Categoria morfosintattica</b>	sostantivo, f, sing



<b>Status</b>	odobreno
<b>Dominio</b>	matematica
<b>Sottodomini(o)</b>	/
<b>Definizione (+ fonte)</b>	qualsiasi punto del campo di moto di un fluido irrotazionale, non viscoso e a densità costante in cui la funzione potenziale di velocità $\Phi$ assuma valore infinito o non sia monovalore (detto più propriamente punto singolare). ( <a href="http://www.treccani.it/enciclopedia/singularita">http://www.treccani.it/enciclopedia/singularita</a> )
<b>Relazioni tra i termini: iperonimo</b>	/
<b>Relazioni tra i termini: iponimo</b>	singularità essenziale singularità gravitazionale singularità isolata singularità tecnologica singularità all'infinito
<b>Relazioni tra i termini: antonimo</b>	/
<b>Sinonimo</b>	/
<b>Collocazioni</b>	punti singolari
<b>Contesto/i + fonte</b>	Alcune presentano oggi sorprendenti intuizioni, che sembrano quasi preludere a moderne teorie, come quella dei vortici di Anassimandro, che, in un certo modo prefigura gli attuali modelli cosmologici dell'universo comprendenti punti singolari di espansione o collasso della materia cosmica. ( <a href="https://books.google.hr/books">https://books.google.hr/books</a> )
<b>Note tecniche (linguistiche, pragmatiche, enciclopediche)</b>	/
<b>Equivalente/i traduttivo/i</b>	singularitet
<b>Affidabilità</b>	***

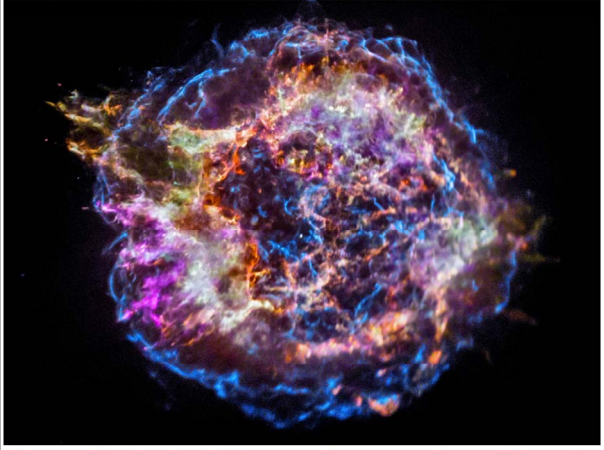
<b>Illustrazione/i (+ fonte)</b>	 <p>(<a href="https://medium.com/@indraniilbarman123/what-is-gravitational-singularity-bdfa70476064">https://medium.com/@indraniilbarman123/what-is-gravitational-singularity-bdfa70476064</a>)</p>
----------------------------------	---

<b>Naziv</b>	singularitet
<b>Jezična odrednica</b>	imenica, m, jd
<b>Status</b>	odobreno
<b>Razredba</b>	fizika
<b>Podrazredba</b>	/
<b>Definicija (+ izvor)</b>	<p>U fizici, točka ili vrijednost parametra u kojoj promatrana veličina postaje beskonačna, višeznačna i nedefinirana ili gubi uobičajena svojstva. <i>Gravitacijski singularitet</i> je točka u <a href="#">prostor–vremenu</a> u kojoj je tvar beskonačno velike gustoće, volumen beskonačno malen, a zakrivljenost prostor–vremena beskonačna, npr. <a href="#">crna rupa</a>. (<a href="https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=56129">https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=56129</a>)</p>
<b>Nadređeni naziv</b>	/
<b>Podređeni naziv</b>	gravitacijski singularitet izolirani singularitet matematički singularitet tehnološki singularitet
<b>Antonimi</b>	/
<b>Sinonimi</b>	singularnost

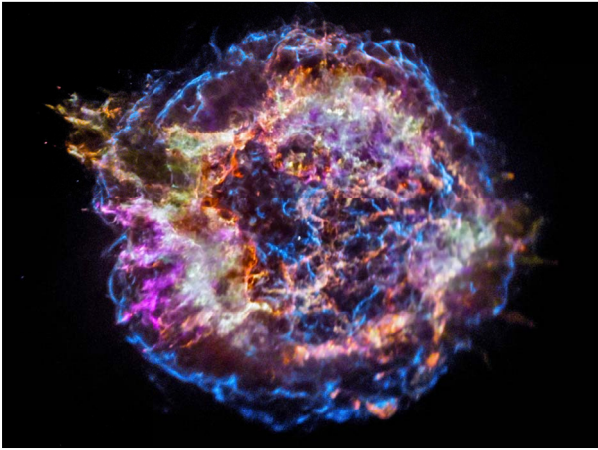
<b>Kolokacije</b>	prividna singularnost teoremi o singularitetima priroda singulariteta
<b>Kontekst (+ izvor)</b>	Prvi je prividna singularnost na tzv. Schwarzschildovom radijusu, za koji se s vremenom ispostavilo kako je posrijedi samo artefakt nespretno odabranog koordinatnog sustava u kojem je originalno rješenje bilo zapisano. ( <a href="http://ideje.hr/sto-se-krije-u-crnoj-rupi-postoji-li-rjesenje-za-nerjesive-probleme-gravitacijske-fizike/">http://ideje.hr/sto-se-krije-u-crnoj-rupi-postoji-li-rjesenje-za-nerjesive-probleme-gravitacijske-fizike/</a> )
<b>Napomene (jezične, uporabne, enciklopedijske)</b>	/
<b>Istovrijednica</b>	singularità
<b>Vjerodostojnost</b>	***
<b>Ilustracija/e (+izvor)</b>	 <p>(<a href="https://medium.com/@indranilbarman123/what-is-gravitational-singularity-bdfa70476064">https://medium.com/@indranilbarman123/what-is-gravitational-singularity-bdfa70476064</a>)</p>

10.

<b>Termine</b>	supernova
<b>Categoria morfosintattica</b>	sostantivo, f, sing
<b>Status</b>	convalidato
<b>Dominio</b>	fisica
<b>Sottodomini(o)</b>	astronomia/astrofisica
<b>Definizione (+ fonte)</b>	In astrofisica, stella che all'improvviso e in misura eccezionale aumenta di luminosità, passando in pochi giorni, per es., dal limite di visibilità a una delle prime magnitudini, ed esaurendosi poi nel giro di pochi

	mesi. ( <a href="http://www.treccani.it/vocabolario/supernova">http://www.treccani.it/vocabolario/supernova</a> )
<b>Relazioni tra i termini: iperonimo</b>	stella
<b>Relazioni tra i termini: iponimo</b>	Le supernove di Tipo I Le supernove di Tipo II
<b>Relazioni tra i termini: antonimo</b>	/
<b>Sinonimo</b>	/
<b>Collocazioni</b>	Osservare la supernova Esplosione di supernova
<b>Contesto/i + fonte</b>	L'esplosione di una supernova arriva a generare energie pari a quella di 2,5 trilardi di bombe atomiche. ( <a href="http://scienzaeastronomia.blogspot.com/2015/02/che-cose-una-supernova-impariamo-di-piu.html">http://scienzaeastronomia.blogspot.com/2015/02/che-cose-una-supernova-impariamo-di-piu.html</a> )
<b>Note tecniche (linguistiche, pragmatiche, enciclopediche)</b>	/
<b>Equivalente/i traduttivo/i</b>	supernova
<b>Affidabilità</b>	***
<b>Illustrazione/i (+ fonte)</b>	 <a href="https://scitechdaily.com/spectacular-video-shows-how-supernova-remnant-cassiopeia-a-evolved-since-2000/">https://scitechdaily.com/spectacular-video-shows-how-supernova-remnant-cassiopeia-a-evolved-since-2000/</a>

<b>Naziv</b>	supernova
<b>Jezična odrednica</b>	imenica, ž, jd
<b>Status</b>	odobreno
<b>Razredba</b>	fizika
<b>Podrazredba</b>	astronomija/astrofizika
<b>Definicija (+ izvor)</b>	<p>zvijezde u eksploziji, kojima se sjaj tijekom nekoliko tjedana poveća i za 20 magnituda te u svemir velikom brzinom, bliskom brzini svjetlosti, odbacuju velik dio svoje tvari. Velika količina oslobođene energije (zračenje supernove neko je vrijeme usporedivo sa zračenjem cijele galaktike) omogućava sintezu elemenata masivnijih od željeza.</p> <p>(<a href="https://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=58823">https://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=58823</a>)</p>
<b>Nadređeni naziv</b>	zvijezde
<b>Podređeni naziv</b>	supernove prve vrste supernove druge vrste
<b>Antonimi</b>	/
<b>Sinonimi</b>	/
<b>Kolokacije</b>	Zračenje supernove Eksplozija supernove
<b>Kontekst (+ izvor)</b>	<p>Godine 1006. srednjovjekovni astronomi iz Egipta zapisali su kako se na nebu nalazi nova zvijezda, sjajna poput Mjeseca u prvoj četvrti i oko tri puta većeg promjera od Venere. Nekoliko je tjedana bila vidljiva i po danu, a tek nakon pola godine njezin je sjaj opao ispod razine vidljivosti ljudskog oka. Danas znamo da je riječ o eksploziji supernove zvijezde koja nosi oznaku SN 1006, čiji se ostaci nalaze udaljeni 7000 svjetlosnih godina od Zemlje.</p> <p>(<a href="https://www.zvezdarnica.com/astronomija/zanimljivosti/pogled-na-eksploziju-supernove-zvijezde-od-prije-tisucu-godina/432">https://www.zvezdarnica.com/astronomija/zanimljivosti/pogled-na-eksploziju-supernove-zvijezde-od-prije-tisucu-godina/432</a>)</p>
<b>Napomene (jezične, uporabne, enciklopedijske)</b>	/
<b>Istovrijednica</b>	supernova

<b>Vjerodostojnost</b>	***
<b>Ilustracija/e (+izvor)</b>	 <p>(<a href="https://scitechdaily.com/spectacular-video-shows-how-supernova-remnant-cassiopeia-a-evolved-since-2000/">https://scitechdaily.com/spectacular-video-shows-how-supernova-remnant-cassiopeia-a-evolved-since-2000/</a>)</p>

## 5. CONCLUSIONE

L'argomento principale in questa tesi di laurea è la terminologia come scienza e come ci può aiutare mentre traduciamo un testo scientifico. All'inizio di questo lavoro è stato importante spiegare come e dove si usa la terminologia e perché è fondamentale conoscere come possiamo usare certi metodi per poter approfondire il nostro sapere e tradurre meglio. Ci sono tanti diversi modi che potrebbero esserci utili e fare le schede terminologiche e soltanto una forma con cui potremmo facilitare il processo della traduzione. Sistemare i termini di un certo campo con cui ci siamo occupati e organizzarli di una maniera logica e facile da capire, è essenziale. Quando abbiamo fatto questo, sarà semplice cercare e trovare tutto quello che ci serve. Ci sono differenti campi scientifici, uni più ampi che gli altri e dipendendo dal volume del testo con cui lavoriamo e dal grado di complessità di certi termini, si fanno diversi base di dati che uniscono tutto ciò che potrebbe essere utile in un certo momento. In questo lavoro è stata fatta la traduzione di un testo del campo dell'astrofisica. Il testo è pieno dei termini sconosciuti a un laico ed era fondamentale ricercare in dettaglio i temi di qui si è parlato.

È stato difficile comprendere alcune parti, specialmente quelle piene delle formuli matematiche e alcune frasi sono state difficili di trasmettere in croato. Per quanto riguarda le schede terminologiche sono stati analizzati dieci termini in italiano e in croato. Le unità terminologiche che sono state analizzate sono le seguenti: galassia (galaksija), quark (kvark), radiazione (zračenje), magnitudine (magnituda), luminosità (luminoznost), materia oscura (tamna tvar), nucleosintesi (nukleosinteza), parallasse (paralaksa), singolarità (singularitet), supernova (supernova). Per coloro che si interessano in questo campo, i detti termini sono importanti da adottare e conoscere. Sia che si tratta dei professionali che lavorano tutto il tempo con i temi simili e in un campo così stretto, sia che si tratta delle persone il cui obiettivo principale non è lavoro ma che semplicemente si interessano in questo settore e campo scientifico e vogliono imparare più. L'importanza della scienza di terminologia si vede quando si traducono brani come questi dove è evidente l'aiuto di un sistema di termini che si ripetono nel corso del testo intero. È molto utile avere sistemati i termini perché così risparmiamo il tempo e diventa più facile memorizzare le parole che sembravano complesse. In questa maniera memorizziamo non

soltanto il significato di una unità terminologica ma anche le altre cose importanti che si trovano dentro di una scheda terminologica piena di informazioni utile. Per concludere, lo principale di questo lavoro è stato accentuare l'importanza della terminologia in generale, ma soprattutto durante l'atto della traduzione di testi scientifici pieni di termini che non si utilizzano ogni giorno.



## 6. RIASSUNTO

Traduzione e analisi terminologica di un testo del campo dell'astrofisica

Questa tesi di laurea si concentra sulla traduzione di un brano del testo scientifico, meglio dire, del testo di campo di astrofisica intitolato *Appunti di astronomia* e sulla composizione delle schede terminologiche che contengono certi termini importanti da memorizzare. Il lavoro è stato suddiviso in 11 capitoli. Al principio abbiamo l'introduzione al presente lavoro dove si descrive su quali temi si è concentrato durante la scrittura. In seguito viene descritta la definizione della terminologia e le cose principali di questa scienza, in che modo viene usata la terminologia, che sono i termini e come si definiscono. Si parla anche sulla metodologia dell'analisi terminologica e sui linguaggi speciali e perché è così importante e utile sapere e conoscere i termini appartenenti a differenti linguaggi speciali. Alla fine c'è la rappresentazione dell'estrazione di termini di un testo e la descrizione di una scheda terminologica e tutti i campi che essa deve contenere. Dopo di questo abbiamo la traduzione del testo dall'italiano al croato (l'originale del testo in italiano si trova alla fine della tesi sotto l'allegato) seguito da dieci schede terminologiche in italiano e in croato.

Parole chiavi: terminologia, scheda terminologica, termine, linguaggio speciale

## 7. SAŽETAK

Prijevod i terminološka analiza teksta iz područja astrofizike

Ovaj diplomski rad u središtu promatranja ima prijevod jednog poglavlja iz knjige, odnosno, rada iz područja astrofizike pod nazivom „Appunti di astonomia” s talijanskog na hrvatski jezik ali i važnost sastavljanja terminoloških kartica koje sadržavaju određene termine koji su od velike važnosti i koje bi bilo korisno zapamtiti ukoliko se bavimo proučavanjem nekog specifičnog područja. Rad je podijeljen u jedanaest odlomaka a započinje uvodom u kojem se opisuje tema koja se obrađuje. Zatim se iznosi definicija terminologije i glavni pojmovi vezani za ovu znanost, u kojim je situacijama korisno poznavati terminologiju uskog područja, kao i što su termini i kako se definiraju. Govori se i o metodologiji terminološke analize, o posebnom vokabularu specifičnom za određeni sektor i o tome zašto je od iznimne važnosti poznavati određene termine. Naposljetku imamo prikaz načina na koji se izvlače termini iz nekog teksta i opis terminoloških kartica, kao i svih polja koje ista obuhvaća. Zatim imamo prijevod teksta s talijanskog na hrvatski jezik (original na talijanskog nalazi se priložen na kraju rada), nakon čega slijedi deset terminoloških kartica u kojima je objašnjeno deset izdvojenih termina na talijanskom i hrvatskom.

Ključne riječi: terminologija, terminološka kartica, termin, metodologija

## 8. ABSTRACT

Translation and terminological analysis of a text from the field of astrophysics

The main theme of this master's thesis is the translation of a chapter from a book called “Appunti di astronomia”, from Italian to Croatian language. The book is explaining the principal laws of astronomy and astrophysics, bringing us closer to the very complicated science full of difficult mathematical equations. In the thesis it is also discussed the importance of compiling terminological cards that contain certain terms which seem to be important for the further work within a specific sector. The thesis is divided in eleven paragraphs. At the beginning, as a part of the introduction, it is described the theme of the paper. Afterwards, it is presented the definition of terminology and the main concepts concerning this scientific field, it is explained in which situations it is useful knowing the terminology of a certain sector and it is also presented the definition of terms and when they are used. Furthermore, it is being explained the methodology of a terminological analysis, as well as the *linguaggio speciale* specific for a certain scientific area and the importance of knowing and being aware of specified terms. After that, we have the representation of a way in which happens the extraction of terms from a text or scientific paper and the detailed description of terminological cards, as well as all the fields they are composed of. At last, we have the translation from Italian to Croatian (the original text in Italian can be found attached at the end of the thesis) of the fragment from the above mentioned book, followed by ten terminological cards with ten highlighted terms both in Italian and Croatian.

Key words: terminology, terminological card, term, methodology

## 9. ALLEGATO

### L'UNIVERSO: STRUTTURA ED EVOLUZIONE

#### 1.1 – LE GALASSIE

Con il termine galassia i greci designavano la Via Lattea, cioè quella striscia lattescente che attraversa il nostro cielo notturno e ben visibile sotto cieli sufficientemente bui, specie d'estate. Oggi, con questo termine, indichiamo degli immensi sistemi composti da gas, polveri, stelle, pianeti, ..., tenuti insieme dalla forza di gravità. Il Sole fa parte di una galassia chiamata Galassia (con l'iniziale maiuscola); la Via Lattea è una parte della Galassia, quella visibile dalla Terra. La scoperta delle galassie ha una storia lunga e travagliata, basti pensare che agli inizi del '900 non era ancora chiaro se le varie nebulose visibili nel cielo fossero oggetti appartenenti alla nostra galassia o esterni ad essa. Le galassie possono contenere da qualche miliardo di stelle (quelle più piccole) fino a circa mille miliardi (quelle più grandi). Esse non hanno un bordo netto, ma le stelle diminuiscono andando dal centro verso la periferia; per tale motivo, quando si parla di diametro di una galassia si intende il diametro di una circonferenza di centro coincidente con quello della galassia e contenente metà dello splendore totale. Il diametro delle galassie va da alcune decine di migliaia fino a qualche centinaio di migliaia di anni luce<sup>13</sup>.

Le stelle che compongono le galassie hanno un moto di rotazione intorno al centro con velocità variabili che sono determinabili con opportune tecniche di misura. La massa associata alla materia visibile non è però sufficiente a render conto di queste velocità: è necessaria molta più materia di quella che si vede (chiamata materia oscura). Uno dei problemi più importanti dell'Astrofisica moderna è appunto determinare la natura di questa massa mancante.

##### 1.1.1 – La classificazione delle galassie

---

<sup>13</sup>

L'anno luce è una unità di misura della distanza ed è lo spazio che la luce, che viaggia a circa 300.000 km/s, percorre in un anno. Un anno luce è circa 9500 miliardi di km.

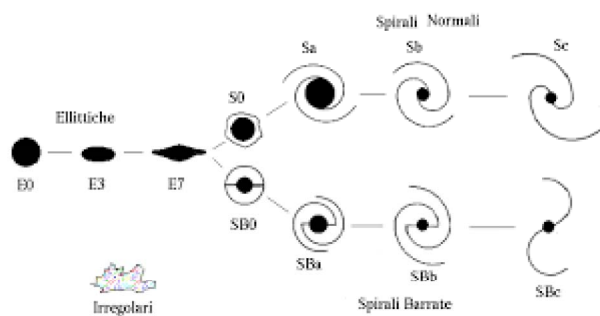


Fig. 1.1 – Classificazione delle galassie secondo Hubble.

Tra il 1924 e il 1926 l'astronomo americano Edwin Hubble, con il telescopio Hooker di 2,54 m installato nel 1918 a Mount Wilson in California, ottenne delle foto della nebulosa di Andromeda nelle quali erano evidenti le stelle che formano i bracci di una spirale. Successivamente altre nebulose furono risolte in stelle simili a quelle della Galassia ed anche esse presero il nome di galassie. Hubble propose quindi una classificazione in tre tipi fondamentali: galassie ellittiche, indicate con la lettera E; a spirale, indicate con la lettera S; irregolari, indicate con I.

Le galassie ellittiche sono così chiamate per la loro forma e sono composte da stelle di Popolazione II, cioè da stelle giganti rosse o gialle, nane rosse o gialle e da una quantità di stelle bianche di luminosità non troppo alta; mancano le giganti e le supergiganti bianco-blu e non vi sono polveri. Non si notano in genere, regioni di formazione stellare. Dall'esterno le galassie ellittiche differiscono solo per il loro maggiore o minore appiattimento. Hubble definì come indice di ellitticità la quantità  $10 \cdot (a - b) / a$ , dove  $a$  è il semiasse maggiore e  $b$  quello minore. Il valore che si ottiene è generalmente un numero frazionario, Hubble propose di approssimarlo all'unità, per cui i valori possibili per tale parametro sono gli interi da 0 a 10; in realtà non si osservano galassie ellittiche con indici di appiattimento superiori a 7. Le galassie a spirale sono molto difformi, ma tutte presentano un nucleo centrale e dei bracci che partono da posizioni diametralmente opposte. Con le sue osservazioni, Hubble riuscì a cogliere la possibilità di dividerle in sottoclassi: come misura vennero usati il grado di sviluppo dei bracci e le dimensioni del nucleo della galassia. Si indicano allora con Sa le galassie a spirale i cui bracci sono poco sviluppati o appena accennati. Il nucleo di queste galassie è sempre grande: spesso è circa la metà delle dimensioni osservate della galassia stessa. Le meno sviluppate delle galassie

Si hanno l'aspetto di galassie ellittiche. Di regola i bracci a spirale sono due e fuoriescono da punti diametralmente opposti del nucleo: essi si sviluppano in modo simile e simmetricamente si perdono in due regioni opposte alla periferia della galassia. Sono comunque noti esempi di galassie con un numero maggiore di bracci a spirale. Nella sottoclasse Sb i bracci a spirale sono sensibilmente sviluppati, ma non hanno ricche ramificazioni. Il nucleo è minore che in Sa. La galassia di Andromeda è di tipo Sb.



Fig. 1.2 – La galassie NGC4565 è una tipica galassia a spirale vista di lato; è evidente la fascia di gas e polveri del disco. Ripresa dall'Osservatorio Astronomico "Padre Francesco De Vico", Serrapetrona (MC)

Le galassie con bracci fortemente sviluppati, a loro volta suddivisi in molti altri, con nuclei piccoli in confronto a questi, appartengono al tipo Sc. In tutte le galassie a spirale viste di profilo è visibile una sottile regione oscura che sembra dividere la galassia in due parti; vicino al piano di simmetria si concentrano infatti polveri e gas. La Galassia appartiene al tipo Sb o Sc. L'appiattimento delle galassie a spirale, dato dalla relazione di cui sopra, dà valori prossimi a 8 per le galassie Sa, tra 8,5 e 9 per le galassie Sb e maggiori di 9 per le Sc. I bracci delle spirali sono formati dalle stelle di Popolazione I, cioè da stelle calde giganti; nei bracci si trovano ampie regioni di formazione stellare. Nelle comuni galassie a spirale i bracci fuoriescono direttamente dal nucleo; esistono però delle galassie in cui il nucleo è situato nel mezzo di una "barra" di stelle ed i bracci a spirale iniziano proprio dagli estremi di queste barre. Come quelle normali, le spirali barrate si suddividono in tre sottoclassi indicate con SBa, SBb, SBc a seconda del grado di sviluppo

dei bracci. Non è ancora chiara la ragione dell'esistenza della barra. Le galassie dei tipi finora menzionati sono caratterizzate da una forma simmetrica; esistono però numerose galassie di forma irregolare: ne sono un esempio le Nubi di Magellano, galassie satelliti della Via Lattea.

### 1.1.2 – La struttura della Galassia

La Galassia è costituita da circa duecento miliardi di stelle disposte a formare un disco; è circondata da un alone sferico costituito da ammassi globulari (ammassi compatti di stelle) ed è immersa in un alone ancora più ampio di materia oscura rilevabile solo per i suoi effetti gravitazionali. Nella Via Lattea, come già detto la parte della Galassia visibile da Terra, sono presenti delle nubi di polveri e gas freddi<sup>14</sup> che oscurano la visuale delle parti retrostanti (osservazioni al telescopio mostrano la presenza anche di nubi di gas caldi all'interno delle quali si stanno formando nuove stelle); lo studio delle onde radio emesse da queste nubi, hanno permesso di stabilire che la Galassia può essere classificata probabilmente Sb o Sc. Si è potuto inoltre dedurre che la Galassia ha un diametro di circa 30 kpc<sup>15</sup> (circa 100.000 anni luce) e il Sole si trova a 9 kpc (circa 30000 anni luce) dal centro. Nelle regioni esterne lo spessore è di 300 pc (circa 1000 anni luce) mentre al centro c'è un rigonfiamento, un bulbo di stelle (è più usato il termine inglese bulge) che ha un diametro di 7 kpc (circa 20000 anni luce) e uno spessore di 1 kpc (circa 3000 anni luce). Visto dalla Terra il centro della Galassia si trova nella costellazione del Sagittario. Nella Galassia si osservano stelle di tutte le età: stelle molto vecchie sono distribuite nel bulge e nell'alone (stelle di Popolazione II) e si ritiene siano quanto rimane del primo periodo di grande formazione stellare all'epoca della formazione della Galassia stessa; stelle giovani (di Popolazione I) concentrate in uno strato di circa 500 pc (1500 anni luce) di

---

14

Si ricordi che per temperatura di un gas si intende una quantità legata all'energia cinetica media delle particelle che lo compongono: in altre parole in un gas freddo le particelle si muovono a basse velocità, mentre in un gas caldo le particelle sono molto veloci.

15

kpc = kiloparsec = 1000 parsec. Un parsec (pc) è la distanza a cui bisogna porsi per vedere il raggio dell'orbita terrestre (circa 150 milioni di chilometri) sotto l'angolo di 1" (in secondo di grado); equivale a circa  $3,086 \cdot 10^{16}$  m, ovvero a 3,26 anni luce.

spessore medio sul piano del disco, in cui la formazione delle stelle è ancora in atto; stelle di età intermedia, tra i 2 e 5 miliardi di anni (tra le quali il Sole), che sono distribuite sull'intero disco. Le stelle del disco orbitano intorno al centro della Galassia: il Sole ha una velocità di 250 km/s e impiega circa 225 milioni di anni a compiere un giro completo. Lo studio del moto delle stelle permette di determinare la massa complessiva della Galassia (valutata in circa 1000 miliardi di masse solari) ossia circa 10 volte la massa dedotta dalla materia visibile. Questa è una prova dell'esistenza della materia oscura.

### 1.1.3 – Origine ed evoluzione delle galassie

È comunemente accettato che le galassie si siano formate dal raffreddamento di immense nubi di gas primordiale, le quali, per la conseguente contrazione e frammentazione in stelle, hanno dato origine alle strutture che osserviamo oggi. I meccanismi di differenziazione in ellittiche e spirali non sono ancora chiari; esistono infatti due punti di vista: 1) le galassie ellittiche e quelle a spirale nascono indipendentemente come tipi diversi, 2) sono l'uno evoluzione dell'altro.

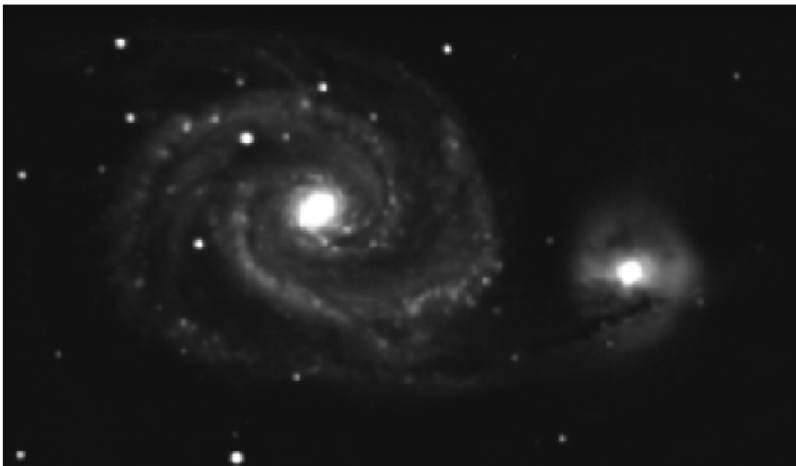


Fig. 1.3 – Scontro tra galassie (M51 e NGC5195) a oltre 20 milioni di anni luce. Ripresa dall'Osservatorio Astronomico "Padre Francesco De Vico", Serrapetrona (MC)



Nel primo caso le galassie ellittiche si sarebbero formate per prime a seguito di un processo di formazione stellare più rapido del successivo collasso. Le spirali nascerebbero a seguito di processi di frammentazione molto più lenti nei quali prima la nube collasserebbe a formare un disco e poi si frazionerebbe a formare le stelle. Nel secondo caso, poiché per motivi dinamici non è possibile che le galassie a spirale si formino dall'evoluzione di galassie ellittiche, si suppone che l'Universo inizialmente fosse formato da galassie a spirale che fondendosi a seguito di "scontri" hanno dato origine alle galassie ellittiche. Il problema dell'origine del materiale di cui sono costituite le galassie sembra invece risolto nei modelli che descrivono l'origine dell'Universo.

## 1.2 – LA STRUTTURA DELL'UNIVERSO

Per conoscere la struttura dell'Universo è fondamentale misurare la distanza degli oggetti cosmici. I primi tentativi di valutare le dimensioni dell'Universo risalgono al mondo greco: Eratostene misurò il diametro della Terra, Aristarco e Ipparco proposero dei metodi per determinare la distanza del Sole e della Luna. Conoscendo la distanza del Sole se ne può determinare la massa: quindi con la terza legge di Keplero è possibile calcolare la distanza dei pianeti del Sistema Solare. Per la determinazione della distanza delle stelle più vicine si fa uso della cosiddetta parallasse annua (vedi figura 1.4), in virtù della quale le stelle vicine appaiono spostarsi rispetto a quelle più lontane a causa del moto della Terra attorno al Sole. Lo spostamento massimo è dato dal diametro dell'orbita terrestre (circa  $3 \cdot 10^{11} \text{ m} = 2 \text{ UA}^{16}$ ). Il fenomeno della parallasse annua è in realtà talmente piccolo che solo strumenti di notevole precisione permisero di metterlo in evidenza (Bessel, 1837). Se si misura l'angolo di parallasse  $p$  in secondi di grado, la distanza  $d$  di una stella, in parsec, si ricava dalla semplice relazione:

$$d = 1/p$$

---

16

L'Unità Astronomica (UA) è una unità di misura delle sostanze planetarie e corrisponde alla distanza media Terra-Sole: 149.598.706,1 km.

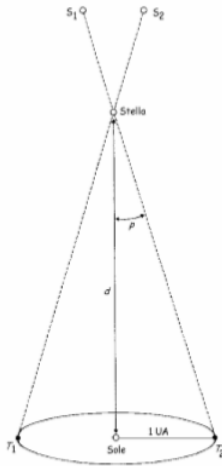


Fig. 1.4 – La parallasse annua

L'utilizzo di tecniche fotografiche, agli inizi del '900, permisero di misurare angoli di parallasse con un errore dell'ordine di  $0,01''$ . Fu così possibile determinare con buona precisione la distanza delle stelle comprese entro qualche decina di parsec. La stella più vicina al Sole è Proxima Centauri, la cui parallasse è  $p = 0,762''$ , che corrisponde ad una distanza  $d = 1,3 \text{ pc} = 4,3 \text{ a.l.}$ . Per poter ottenere misure di parallasse sempre più precise, l'8 agosto 1989, l'ESA (European Space Administration, l'Agenzia Spaziale Europea) ha lanciato il satellite Hipparcos (sigla di High Precision PARallax COLlecting Satellite). Portata a termine il 15 agosto 1993, la missione ha permesso di ottenere la posizione di circa 100.000 stelle con la precisione di  $0,001''$ . In teoria ciò permetterebbe di misurare la distanza delle stelle fino a 1000 parsec (3260 anni luce), in pratica si è arrivati solo a 1000 anni luce, che è comunque una distanza molto maggiore del limite precedente. Attualmente è allo studio dell'ESA la missione GAIA (Global Astrometric Interferometer for Astrophysics), con lo scopo di misurare le parallassi di ben 50 milioni di oggetti con la precisione di 10 microsecondi d'arco ( $0,00001''$ !), 100 volte superiore a quella di Hipparcos. Questo in teoria permetterebbe di misurare le distanze di tutte le stelle della Via Lattea (usando come sfondo le altre galassie). In metodo della parallasse non è applicabile alla misura della distanza delle galassie. Un ruolo fondamentale in questa direzione lo ebbero ancora una volta il telescopio di Mount Wilson e Hubble. Egli utilizzò una scoperta fatta da Henrietta Swan Leavitt (una delle poche donne che si sono occupate

di Astronomia) secondo la quale esiste una relazione tra il periodo e la luminosità delle stelle variabili cefeidi<sup>17</sup>.

I metodi per la determinazione della distanza delle galassie si basano sulla individuazione di oggetti celesti, appartenenti alle galassie stesse, per i quali si ritiene di conoscere con discreta precisione la magnitudine assoluta  $M$ <sup>18</sup>. Da Terra è sempre possibile misurare la magnitudine relativa  $m$ , cioè la quantità di luce che arriva dall'oggetto; da questi due valori, applicando la relazione

$$d = 10^{\frac{(m-M+5)}{5}},$$

si può determinare la distanza  $d$ . Gli oggetti celesti utilizzati in queste misure sono detti indicatori di distanza cosmologici o candele standard. Si usa classificare gli indicatori in tre fasce: indicatori primari, secondari e terziari. Gli indicatori primari vengono utilizzati per misurare le distanze degli oggetti fuori della nostra galassia, la cui magnitudine può essere fissata (ovvero che possono essere calibrati) attraverso l'osservazione degli oggetti della nostra galassia. I secondari sono quelli che per la calibrazione dipendono dalla conoscenza della distanza di galassie vicine misurata attraverso gli indicatori primari. I terziari sono quelli che per la calibrazione dipendono dalla conoscenza della distanza di oggetti (galassie) misurata attraverso gli indicatori secondari. Gli indicatori primari permettono stime di distanza fino a circa 30 Mpc (megaparsec = milioni di parsec), quelli secondari e terziari fino a oltre 1000 Mpc. Tra gli indicatori primari più significativi e affidabili ci sono le già citate stelle variabili cefeidi: determinato il periodo è possibile risalire alla magnitudine assoluta media della stella e quindi alla sua distanza. Il telescopio spaziale Hubble ha consentito di stimare distanze fino a 30 Mpc (circa 100 milioni di anni luce). Tra gli altri indicatori primari molto utilizzati ci sono le supernovae. Esse raggiungono luminosità assolute maggiori di quelle delle cefeidi e quindi possono essere viste da grandissime distanze. Gli indicatori secondari più utilizzati sono: la luminosità delle stelle più brillanti delle galassie, le più brillanti regioni di idrogeno ionizzato (regioni

---

<sup>17</sup> Le variabili cefeidi sono stelle molto luminose che hanno delle variazioni periodiche molto regolari.

<sup>18</sup> La magnitudine assoluta è la luminosità che avrebbe un corpo celeste se fosse posto a 10 pc (32,6 anni luce) dalla Terra; è un indice della effettiva luminosità della stella

HII), la distribuzione di luminosità degli ammassi globulari, la relazione di Tully-Fisher (viene sfruttata la relazione tra l'intensità della riga a 21 cm emessa dall'idrogeno neutro e la magnitudine assoluta della galassia), correlazione tra colore e luminosità delle galassie. Gli indicatori terziari sono: la luminosità delle galassie spirali, la dimensione delle galassie spirali e la correlazione con la luminosità, la luminosità totale delle galassie più brillanti. La misura degli oggetti celesti, anche se vicini, presenta sempre un'incertezza<sup>19</sup>, è quindi ovvio che man mano che si cerca di misurare la distanza di oggetti sempre più lontani le incertezze siano sempre maggiori. Un altro problema è la determinazione della quantità di radiazione che viene assorbita dal mezzo intergalattico. In questo caso le idee sono contrastanti tanto da rendere le misure fatte da vari astronomi anche molto diverse.

### 1.2.1 – La legge di Hubble

Nel 1912 si scoprì che le galassie presentano uno spostamento dello spettro verso il rosso<sup>20</sup>. Intorno al 1920 Hubble riuscì a distinguere stelle Cefeidi di alcune galassie e ne determinò la distanza scoprendo che erano extragalattiche. Nel 1929 propose di interpretare lo spostamento verso il rosso come effetto Doppler per cui misurare tale spostamento equivale a misurare la velocità radiale della sorgente luminosa. Mettendo in relazione la distanza  $d$  (determinata col metodo delle Cefeidi) e la velocità radiale  $v$  (determinata con lo spostamento verso il rosso), trovò la seguente legge (Legge di Hubble):

<sup>19</sup>

Già nella misura della distanza della Grande Nube di Magellano, a seconda degli indicatori utilizzati, si ottengono valori compresi tra 44 kpc e 55 kpc; la stima attuale più condivisa è  $51 \pm 1$  pc.

<sup>20</sup>

È l'analogo dell'effetto Doppler noto per il suono che consiste nel fatto che se una sorgente sonora si avvicina ad un osservatore, il suono diventa più acuto, mentre diventa più basso quando si allontana. Per la luce vale un effetto analogo: le onde luminose che pervengono da una sorgente luminosa in moto sono spostate verso il violetto (piccole lunghezze d'onda) se la sorgente si avvicina, verso il rosso (grandi lunghezze d'onda) se la sorgente si allontana. La teoria della relatività fornisce le formule pertinenti a descrivere il fenomeno: se un raggio di luce di lunghezza d'onda  $\lambda$  viene inviato da una sorgente che si muove alla velocità  $v$  verso un osservatore fermo, la lunghezza d'onda ricevuta  $\lambda'$  è maggiore. Il redshift  $z$  è definito dalla relazione  $z \lambda - \lambda = \lambda$  dalla quale si può ricavare la velocità della sorgente. Se  $v$  è molto minore della velocità della luce  $c$ , le relazioni si semplificano:  $z = v/c$  e quindi  $v = z \cdot c$ .

$$v = H_0 \cdot d,$$

dove  $H_0$  è una costante detta costante di Hubble. Una prima conseguenza della legge di Hubble è che è possibile costruire un modello in scala dell'Universo. Anche se non si conosce il valore esatto della costante di Hubble, che rappresenta solo il "fattore di scala", la forma sarà comunque definita. Il valore attuale di  $H_0$ , dedotto agli inizi del 2003 dai dati del satellite della NASA WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe) è di 71 km/s per Mpc ( $= 2,30 \cdot 10^{-18} \text{ s}^{-1}$ ). Una seconda e fondamentale conseguenza della legge di Hubble è che l'Universo si espande.

### 1.2.2 – La distribuzione delle galassie

Dall'osservazione di centinaia di migliaia di galassie risulta evidente che la loro distribuzione non è uniforme e che esistono strutture molto estese. Uno dei problemi principali della cosmologia è quello di spiegare la formazione di queste strutture.

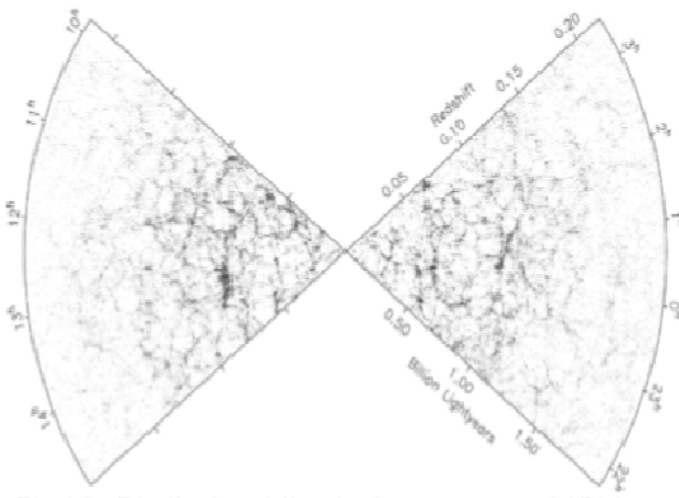


Fig. 1.5 – Distribuzione delle galassie: questa mappa dell'Universo vicino, nella quale ogni punto rappresenta una galassia, è stata ottenuta da un gruppo anglo-australiano e include più di 140.000 galassie.

Le galassie si presentano in genere riunite in gruppi di alcune decine, in ammassi con migliaia di componenti i quali fanno parte di strutture ancora più grandi, dette superammassi, composte da dozzine di ammassi e disposte a formare lunghi filamenti. Le ultime ricerche danno per l'Universo una struttura a "schiuma" formata da bolle vuote sulle cui pareti si dispongono i filamenti dei superammassi. La Galassia appartiene al cosiddetto Gruppo Locale di cui fanno parte la galassia di Andromeda (una spirale un po' più grande della Galassia), la galassia M33 nel Triangolo (anch'essa è una spirale, ma è più piccola delle altre due) e una trentina di galassie nane ellittiche o irregolari (tra cui le due Nubi di Magellano, visibili nei cieli dell'emisfero meridionale). Tutto il gruppo è contenuto in una sfera di circa 1 Mpc di diametro. Il Gruppo Locale si trova alla periferia dell'Ammasso della Vergine (una struttura ricca di un migliaio di galassie) e presenta un moto rilevabile in direzione del suo centro; moti su grande scala come questo sono stati rilevati in molti ammassi vicini.



Fig. 1.6 – La Galassia di Andromeda. Foto di Alfredo Trombetta dall'Osservatorio Astronomico "Padre Francesco De Vico" di Serrapetrona (MC)

Esistono diversi tipi di ammassi: i più ricchi e densi hanno forma tondeggiante, quelli meno numerosi hanno forma appiattita ed irregolare. Regioni a densa popolazione, come i nuclei degli ammassi, sono gremite di ellittiche e di tipo S0 e prive di gas e stelle in fase di formazione. Regioni meno affollate possono ospitare spirali ed irregolari. Ciò porta ad una vecchia questione ancora irrisolta: nelle regioni ricche degli ammassi le spirali non si sono mai formate o si sono in qualche modo distrutte o trasformate? Il dibattito è ancora aperto nonostante siano molte le prove che in alcuni ammassi le spirali, un tempo numerose, sono state trasformate da fattori esterni in ellittiche o S0. Un meccanismo di trasformazione è quello della fusione tra galassie e, sebbene sia raro, alle alte velocità rilevate negli ammassi potrebbe essere stato, un tempo, più rilevante. Un secondo meccanismo di trasformazione potrebbe intervenire se gli ammassi contenessero una qualche specie di mezzo intergalattico. Qualcosa del genere è stato scoperto dai primi satelliti per raggi X ed è noto come si trovi ovunque negli ammassi e persino nei gruppi di galassie. Moti casuali nell'ammasso riscaldano questi gas a temperature di 10 milioni di kelvin<sup>21</sup> rendendoli visibili solo per l'emissione X che producono. Questo gas, generalmente, ha una massa pari a quella delle stelle nelle galassie osservabili e, come queste si muovono nella sua direzione, forma una sorta di vento esterno. In principio potrebbe essere sufficientemente forte da trascinare all'esterno il gas contenuto nella galassia a spirale. Una spirale privata in questo modo del gas, cesserebbe la formazione stellare ed in breve tempo assomiglierebbe ad una di tipo S0. Approfondite osservazioni in ammassi come quello della Vergine hanno provato infatti che le spirali prossime al nucleo hanno perso le regioni di gas più esterne. Studi dettagliati della distanza e del redshift di galassie vicine hanno aggiunto un altro aspetto nella comprensione della dinamica degli ammassi: essi sono ancora nella fase di accrescimento! Maggiore è la distanza, maggiore è il tempo impiegato dalla gravità dell'ammasso per esercitare la sua influenza sulle galassie circostanti cosicché quelle lontanissime vanno in direzione opposta rispetto all'espansione dell'Universo e cadono nell'ammasso.

---

21

Il kelvin è una unità di misura della temperatura (simbolo: K); la scala kelvin ha lo zero che coincide con lo zero assoluto (-273°C), la temperatura più bassa raggiungibile. In kelvin la temperatura del ghiaccio che fonde (0°C) corrisponde a 273 K, quella dell'acqua che bolle (100°C) a 373 K.

### 1.3 – L'ORIGINE E L'EVOLUZIONE DELL'UNIVERSO

Le osservazioni e gli studi fin qui svolti ci portano a pensare che l'Universo è tenuto insieme dalla forza di gravità; è quindi ovvio che per costruire modelli matematici per descrivere l'Universo si faccia uso delle teorie che descrivono questa interazione. Attualmente i più completi e attendibili sono forniti dalla teoria della relatività generale. Non manca però chi ritiene che nella determinazione della struttura e dell'evoluzione dell'Universo la forza elettromagnetica sia molto più importante di quanto si pensi<sup>22</sup>.

#### 1.3.1 – I principi cosmologici

La Teoria della Relatività Generale (TRG) fu ideata da Albert Einstein nel 1916; in una memoria pubblicata nel 1917 egli applicò la TRG all'Universo nel suo insieme cercando di dedurre lo stato come soluzione dalle sue equazioni; non essendo ancora nota la legge di Hubble e quindi l'espansione dell'Universo, egli impose che questa soluzione doveva descrivere la distribuzione media della materia nell'Universo ed inoltre tale distribuzione doveva essere omogenea e isotropa sia nello spazio che nel tempo (l'Universo non doveva evolversi). Le soluzioni erano però in disaccordo con la convinzione dell'epoca di un Universo statico ed egli modificò le sue equazioni; in seguito ritenne ciò il suo più grande errore. Alla base di tutte le teorie sull'evoluzione dell'Universo c'è un assunto noto come principio cosmologico. Esistono due versioni di tale principio: 1) su grandi scale l'Universo è con buona approssimazione l'Universo è omogeneo ed isotropo, non vi sono cioè posizioni o direzioni privilegiate; 2) su grandi scale l'Universo è con buona approssimazione omogeneo ed isotropo in ogni istante ovvero, l'omogeneità e l'isotropia siano le stesse anche nel tempo. Nella storia, queste due formulazioni hanno dato luogo a due modelli di Universo contrapposti. Oggi si assume, in quasi tutti i modelli, il primo; si accetta che l'Universo abbia un'evoluzione.

---

22  
stato, DEDALO, 1994

vedi Lerner E.J. – Il Big Bang non c'è mai



### 1.3.2 - Modelli di Friedman

Nel 1929 Alexander Alexandrovich Friedman dimostrò che se si adottava il principio cosmologico esistevano delle soluzioni delle equazioni della Relatività Generale che presentavano un nuovo aspetto: l'Universo non poteva essere stazionario ma doveva evolversi nel tempo.

L'Universo deve: o avere avuto un'origine da una singolarità (uno stato di densità e temperatura infinite); o collassare verso una singolarità; o soddisfare entrambe le situazioni. I modelli di Friedman descrivono quindi tre possibili scenari di evoluzione dell'Universo. In essi gioca un ruolo fondamentale il valore attuale della densità della materia nell'Universo ( $\rho$ ) e la cosiddetta densità critica ( $\rho_C = \frac{3H_0^2}{8\pi G} = 9,5 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ) la cui espressione deriva dalla teoria. Queste definiscono il parametro di densità  $\Omega = \rho/\rho_C$ . Dalla teoria della relatività generale derivano tre possibili scenari.

– Se  $\Omega > 1$ , l'Universo si espanderà fino a raggiungere un raggio massimo, quindi il moto si inverte fino a riportare tutta la materia in un unico punto: il Big Crunc. Con questo modello è compatibile un Universo oscillante. La geometria dell'Universo è sferica e l'Universo è aperto.

– Se  $\Omega = 1$ , l'Universo si espanderà per un tempo infinito, ma con una velocità che tende a 0. La geometria dell'Universo è piatta (geometria euclidea) e l'Universo è aperto.

– Se  $\Omega < 1$ , le galassie tenderanno ad allontanarsi sempre più, anche quando l'Universo sarà infinitamente grande e diluito. La geometria dell'Universo è iperbolica e l'Universo è aperto.

Le misure attuali sembrano dare  $\Omega = 1$ .

Una delle cose più difficili da comprendere è rispetto a quale punto l'Universo si espande. Facciamo un'analogia: consideriamo lo spazio come un elastico sul quale sono fissati, a varie distanze, dei segni a simulare la posizione delle galassie. Tenendo l'elastico per gli estremi, le distanze tra questi segni aumentano, infatti, se ne prendiamo in considerazione uno allora le distanze degli altri aumentano. Se cambiamo il punto di riferimento si ha ancora che le distanze dei segni dal nuovo riferimento aumentano. In conclusione non esiste un segno privilegiato rispetto al quale gli altri si muovono, ma tutti vedono gli altri segni allontanarsi. Si può dimostrare che ognuno vede gli altri segni muoversi con la stessa

legge<sup>23</sup>. Nel nostro Universo, quindi, non solo le galassie (i segni) si muovono nello spazio (l'elastico), ma lo spazio stesso si espande (o si contrae a seconda del modello).

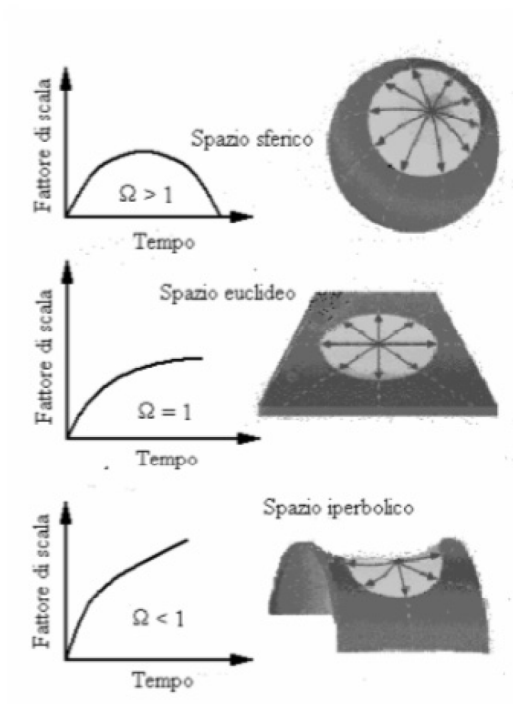


Fig. 1.7 – Modelli di Friedman.

Nei modelli di Friedmann l'Universo ha avuto una origine; la costante di Hubble ha le dimensioni del reciproco di un tempo e quindi  $\tau = 1/H_0$  ha le dimensioni di un tempo che viene detto tempo di Hubble e rappresenta l'età che avrebbe ora l'Universo se si fosse sempre espanso con la stessa rapidità. Il valore attuale è  $\tau = 4,35 \cdot 10^{17} \text{ s} = 1,38 \cdot 10^{10} \text{ anni}$ .

### 1.3.3 – Il modello del Big Bang

Intorno al 1940 George Gamow pose le basi per quello che oggi viene chiamato Big Bang (grande botto), che sta ad indicare l'inizio dell'Universo. Egli stava ricercando i luoghi dell'Universo che fossero sufficientemente caldi perché potessero aver luogo quelle reazioni nucleari che portano alla formazione degli elementi chimici. Egli comprese che

23

L'analogia non funziona, ovviamente, se consideriamo gli estremi, l'Universo dobbiamo pensarlo infinito, senza bordo.

queste condizioni si potevano realizzare quando la materia era molto più compressa di oggi e cioè, andando indietro nel tempo, all'origine dell'Universo. I suoi calcoli portarono però alla conclusione che, a partire dall'idrogeno, si sarebbe potuto formare solo l'elio, non gli altri elementi. Successivamente Fred Hoyle scoprì che gli elementi chimici "pesanti" si potevano formare all'interno delle stelle. Le odierne teorie sulle particelle elementari ci permettono di descrivere i primi istanti di vita dell'Universo. La teoria del Big Bang però non è in grado di spiegare l'istante iniziale, ma solo in che modo l'Universo si è evoluto fino alla forma che oggi osserviamo; la relatività generale non è idonea a descriverlo quando le sue dimensioni negli istanti iniziali, quando la scala dell'Universo era confrontabile con le dimensioni delle particelle elementari, alla cosiddetta lunghezza di Planck (10<sup>-33</sup> cm), ovvero quando l'Universo aveva un'età di 10<sup>-43</sup> secondi. Non disponiamo ancora di una teoria in grado di eliminare questa difficoltà, la miglior candidata è la teoria delle stringhe, ma è difficile al momento attuale prevederne gli sviluppi. Il successo più importante della teoria del Big Bang è la capacità di spiegare le abbondanze degli elementi: una frazione di secondo dopo il Big Bang, l'Universo era un "brodo" di quark, leptoni e fotoni, ma già dopo un secondo di vita si erano formati protoni e neutroni (costituiti dai quark). Per qualche minuto, finché la temperatura e la densità furono abbastanza elevate, una serie di reazioni nucleari portò alla formazione di nuclei di elio e, in misura molto minore, di altri elementi leggeri. Le abbondanze previste dalla teoria del Big Bang sono in buon accordo con le osservazioni, che mostrano come l'elemento più diffuso nell'Universo sia l'idrogeno (75%), seguito dall'elio (25%), mentre gli elementi più pesanti rappresentano soltanto una frazione trascurabile della densità totale. Con il procedere dell'espansione, e la conseguente diminuzione di densità e temperatura, la nucleosintesi primordiale si è arrestata: gli elementi più pesanti che ritroviamo in abbondanza sulla Terra sono stati prodotti dalla fusione nucleare all'interno delle stelle. Le prime stelle erano molto massicce e consumavano il loro combustibile nucleare molto in fretta diffondendo nello spazio interstellare gli elementi pesanti da loro sintetizzati quando esplodevano come supernovae; questi elementi sono poi finiti nel gas che, per contrazione gravitazionale, ha dato origine ad altre stelle, come il nostro Sole. Dopo la nucleosintesi, vi è stato un altro evento importante che costituisce un'ulteriore conferma della validità del Big Bang. Circa 300.000 anni dopo l'istante iniziale, la

temperatura si abbassò fino a poche migliaia di gradi, permettendo ad elettroni e protoni di legarsi in modo stabile, formando atomi di idrogeno; soltanto allora i fotoni cominciarono a propagarsi liberamente nello spazio e l'Universo divenne "trasparente": è il cosiddetto istante del disaccoppiamento. Con l'espansione, la lunghezza d'onda di quei fotoni è via via aumentata, e la loro energia diminuita: noi oggi ci ritroviamo ancora immersi in un oceano cosmico di fotoni, la cui temperatura equivale soltanto a 2,73 gradi sopra lo zero assoluto. Si tratta della cosiddetta radiazione cosmica di fondo, osservata per la prima volta nel 1965 da Penzias e Wilson; le osservazioni successive, in particolare quelle del satellite della NASA COBE (COsmic Background Explorer), hanno confermato che essa ha le caratteristiche previste dalla teoria del Big Bang. Anche recenti osservazioni telescopiche di lontane nubi di gas (quindi molto antiche) mostrando che, quando l'Universo aveva un'età di pochi miliardi di anni, la temperatura della radiazione di fondo era più elevata di quella attuale, come previsto dalla teoria del Big Bang.

#### 1.3.4 – Oltre il Big Bang

Nonostante i numerosi successi, la teoria del Big Bang lascia senza risposta alcuni interrogativi fondamentali. Non spiega per esempio qual è la causa delle fluttuazioni di densità che hanno dato origine alle galassie; perché la temperatura della radiazione di fondo proveniente da regioni di cielo situate in direzioni opposte è così simile, visto che tali regioni non hanno mai potuto comunicare tra di loro; perché la densità è così vicina (se non uguale) alla densità critica ( $\Omega = 1$ ).

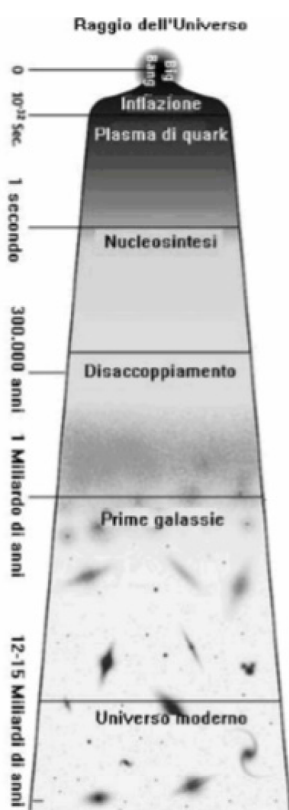


Fig. 1.8 – Le principali tappe dell'evoluzione dell'Universo.

Queste ed altre domande trovano una risposta se la rapidità di espansione dell'Universo non è stata costante nel tempo; in particolare nelle prime fasi di vita, e per un brevissimo periodo di tempo, l'espansione è stata enormemente più rapida di quella attuale, in modo esponenziale: è questa l'ipotesi dell'infrazione. In tal caso, una regione microscopica di spazio si sarebbe gonfiata sino ad assumere la scala attuale dell'Universo. Le fluttuazioni presenti su scale microscopiche avrebbero così assunto dimensioni macroscopiche originando le disomogeneità che hanno dato origine alle galassie. Le diverse regioni dell'Universo osservabile sarebbero state in contatto nel passato, e questo spiegherebbe l'alto grado di omogeneità della radiazione cosmica di fondo. Inoltre, l'espansione rapidissima ha reso piatta la geometria dell'Universo. Questo fenomeno può essere chiarito con una analogia: consideriamo la superficie di un pallone, ci appare evidentemente curva, ma se immaginiamo di gonfiare il pallone fino a fargli assumere le dimensioni della Terra, la sua curvatura non è più immediatamente percepibile (non a caso l'umanità per lungo tempo ha creduto che la Terra fosse piatta). Ci si aspetta inoltre

che in origine vi fosse soltanto un'unica forza fondamentale; col diminuire della temperatura, l'Universo sarebbe passato attraverso delle transizioni in corrispondenza delle quali si sarebbe separata prima la forza di gravità, poi quella forte, infine l'elettromagnetismo e la forza debole. Nella figura 1.8 sono sintetizzate le fasi principali dell'evoluzione dell'Universo.

Anche se non è perfettamente chiaro il meccanismo che ha portato all'inflazione, oggi si è d'accordo nel ritenere che essa è più che una teoria e che l'Universo osservabile è compatibile con essa.

### 1.3.5 - Materia oscura ed energia oscura

Come abbiamo detto la temperatura della radiazione di fondo risulta essere fortemente isotropa, ovvero il suo valore rimane quasi costante in qualunque direzione la si misuri. Ciò costituisce una conferma dell'ipotesi che la materia nell'Universo sia distribuita uniformemente: altrimenti, se all'epoca del disaccoppiamento la materia fosse stata molto disomogenea, avrebbe dovuto causare delle significative fluttuazioni di temperatura nella radiazione di fondo.

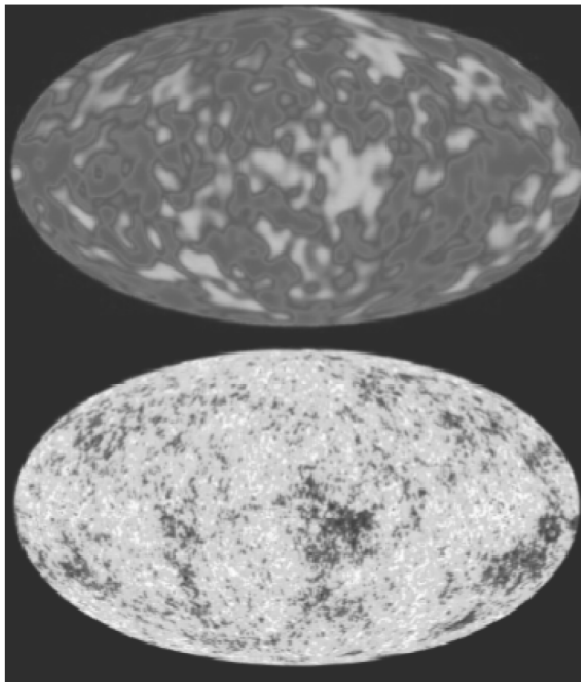


Fig. 1.9 – Le mappe del cielo mostrano le variazioni di temperatura nella radiazione cosmica di fondo, misurate dai satelliti dalla NASA COBE nel 1992 (sopra) e WMAP nel 2003 (sotto).

Come è già stato detto, l'Universo che osserviamo non appare però affatto omogeneo: le galassie si trovano in gruppi ed ammassi; inoltre sono state osservate strutture ancora più grandi e complesse, come enormi vuoti, filamenti e "muraglie" di galassie, su scale dell'ordine di 100 milioni di anni-luce. È inevitabile supporre che, all'epoca del disaccoppiamento, vi fossero piccole fluttuazioni di densità nel gas primordiale. Queste erano zone in cui la densità era un po' più alta ed esercitando un'attrazione gravitazionale superiore hanno progressivamente inglobato la materia circostante sino a formare stelle e galassie, in un processo durato alcune centinaia di milioni di anni. Le fluttuazioni di densità, a loro volta, hanno generato piccole fluttuazioni nella temperatura della radiazione di fondo, che sono state effettivamente rilevate dal satellite COBE dal satellite WMAP (vedi figura 1.9). Le variazioni sono però di appena un centomillesimo rispetto alla temperatura media, e anche 15 miliardi di anni non sarebbero apparentemente bastati per formare le galassie e le altre strutture osservate. Si tenga presente che la gravità è in competizione con l'espansione, la quale rallenta il processo di accrescimento gravitazionale della materia. Le fluttuazioni di densità della materia oscura che ni più recenti mostrano che

esistevano nell'Universo giovane, potevano essere sufficientemente grandi da permettere la formazione delle strutture oggi osservate senza alterare l'isotropia della temperatura della radiazione cosmica di fondo. La presenza di materia oscura inoltre influisce sulla geometria dello spazio e sul destino dell'Universo. Infatti, come abbiamo visto, più alta è la densità di materia nell'Universo, tanto più è forte l'attrazione gravitazionale che rallenta l'espansione. Gli studi e le osservazioni la densità di materia (sia oscura che ordinaria) è di molto inferiore alla densità critica. Le analisi dei risultati dell'esperimento italo-americano Boomerang (osservazioni effettuate da un telescopio a bordo di un pallone che ha volato ad un'altezza di 38 km sull'Antartico) e ancora del satellite WMAP, mostrano in modo convincente che le fluttuazioni nella radiazione di fondo hanno le caratteristiche

che ci si aspetta nel caso di un Universo con densità uguale a quella critica, vale a dire con geometria piatta. Ma se la densità di materia (sia quella luminosa che quella oscura) è poco più di un quarto della densità critica, che cos'è che contribuisce ai rimanenti 3/4 della densità dell'Universo?

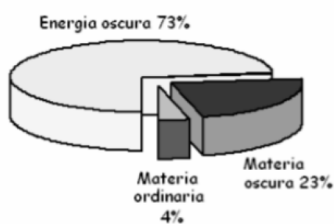


Fig. 1.10 - La composizione dell'Universo secondo i risultati della sonda WMAP

Un'informazione utile per rispondere a questo interrogativo ci viene dalle osservazioni di supernovae lontane, le quali indicano che l'espansione dell'Universo sta accelerando, e non rallentando. Questa accelerazione è dovuta ad una forza repulsiva (che alcuni cosmologi chiamano costante cosmologica, altri quintessenza) che contribuisce con la sua densità di energia alla densità totale dell'Universo (ricordiamo che in relatività materia ed energia sono equivalenti). Da un punto di vista fisico, si ritiene che questo effetto sia riconducibile all'energia del vuoto. Nella fisica moderna, infatti, lo spazio vuoto non corrisponde affatto al "nulla" filosofico; in esso, grazie al principio di indeterminazione di Heisenberg, appaiono e scompaiono coppie di particelle-antiparticelle che sono virtuali, ma che hanno effetti tangibili: è proprio grazie a loro, infatti, che il vuoto può avere una densità di energia non nulla ed esercitare un effetto gravitazionale. Il risultato sorprendente di queste ricerche (ancora in fase di svolgimento) è che l'Universo non è dominato dalla materia, neppure da una materia oscura sotto forme a noi ancora ignote, ma dall'energia dello spazio vuoto! Oggi le percentuali sono: energia oscura 73%, materia oscura 23% e solo il 4% di materia ordinaria; il destino del nostro Universo sembra essere, a questo punto, quello di un'espansione senza fine.



### 1.3.6 - Il Principio antropico

Negli ultimi anni si è andata affermando l'idea che il solo fatto della nostra esistenza implica che le costanti fondamentali della natura non possono avere dei valori molto diversi da quelli misurati. Se ad esempio la costante di gravitazione  $G$  fosse appena più grande la gravità sarebbe più forte, e nelle stelle non ci potrebbe essere equilibrio tra la gravità e la pressione delle reazioni nucleari: esse collasserebbero fino a formare dei buchi neri. Se, al contrario,  $G$  fosse più piccola, non sarebbe stata possibile l'aggregazione della materia primordiale per formare le galassie. Per ognuna delle costanti della natura si potrebbe ripetere un ragionamento analogo e il risultato sarebbe sempre che l'Universo quale noi lo conosciamo, e che ha permesso l'origine delle stelle, dei pianeti e della vita, dipende in maniera estremamente sensibile dall'esatto valore di queste costanti. Quanto detto prende il nome di principio antropico. Per spiegare il problema del valore delle costanti fisiche, di recente sono state proposte tre soluzioni. 1) La natura ha scelto i valori delle costanti delle leggi fisiche per puro caso; avrebbe potuto scegliere altri, ma è capitato che fossero proprio quelli giusti per lo sviluppo di forme di vita intelligenti. 2) C'è un dio che ha deliberatamente scelto questi valori e non altri in modo da permettere lo sviluppo della vita. 3) Il nostro Universo non è unico, esistono infiniti altri Universi in cui le costanti sono diverse; nella stragrande maggioranza di essi non esistono le condizioni adatte allo sviluppo della vita. È evidente la difficoltà nell'accettare una a l'altra delle soluzioni; in questi ultimi anni sono state molte le teorie proposte, finora non ce n'è nessuna soddisfacente. Nonostante tutte le nostre conoscenze rimangono ancora molte domande alle quali la scienza non sa rispondere scientificamente.

## 10. BIBLIOGRAFIA

Angeletti, Angelo, Bellessi, Manlio. 2006. *Appunti di astronomia*. Accademia Montalina degli Inculti.

Deanović, Mirko, Jernej, Josip. 1994. *Hrvatsko-talijanski rječnik. Vocabolario croato-italiano*. Zagreb. Školska knjiga.

Deanović, Mirko, Jernej, Josip. 2012. *Vocabolario croato-italiano. Talijansko-hrvatski rječnik*. Zagreb. Školska knjiga.

Riediger, Hellmut. 2010. *Cos'è la terminologia e come si fa un glossario*.

Pavel, Silvia, Nolet, Diane. 2001. *Handbook of terminology*

## 11. SITOGRAFIA

Treccani (enciclopedia online/vocabolario online). URL:

<http://www.treccani.it/vocabolario/>

Corriere della sera (dizionari e traduttori). URL:

<https://dizionari.corriere.it/>

Reverso Context. URL:

<https://context.reverso.net/translation/>

Glosbe. URL:

<https://hr.glosbe.com/en/hr>

Virgilio Sapere. URL:

<https://sapere.virgilio.it/>

INAF (Istituto Nazionale di Astrofisica). URL:

<http://www.inaf.it/it>

Educalingo. URL:

<https://educalingo.com/en/dic-en>

Hrvatski jezični portal. URL:

<http://hjp.znanje.hr/>

Hrvatska Enciklopedija. URL:

<https://www.enciklopedija.hr/>

Proleksis enciklopedija. URL:

<https://proleksis.lzmk.hr/>

Struna. URL:

<http://struna.ihjj.hr/>

Collins Online Dictionary. URL:

<https://www.collinsdictionary.com/>

WordReference. URL:

<https://www.wordreference.com/>

Zvezdarnica. URL:

<https://www.zvezdarnica.com/>