

A Era Astro-Galáctica em Termos da Macro-História e da Evolução Universal

Leonid E. Grinin

Eurasian Center for Big History & System Forecasting,
Oriental Institute, Russian Academy of Sciences

Anton Grinin

International Center for Education and Social and Humanitarian Studies

Tradução de Daniel Ribera Vainfas

Resumo

O presente artigo tenta combinar o potencial da Macro-História com o potencial dos Estudos Evolucionários. Não apenas analisando a história do Cosmos. Mas também estudando semelhanças entre leis, princípios e mecanismos evolutivos em vários níveis e fases da Macro-História. Essa abordagem abre algumas novas perspectivas para nossa compreensão da evolução e da Macro-História, suas forças motrizes, vetores e tendências; e cria um campo consolidado para pesquisa interdisciplinar. De especial importância é o ponto em que muitos princípios, padrões, regularidades e regras da evolução, que tendemos a achar relevantes apenas para os níveis biológicos e sociais da evolução, também podem ser aplicados à fase cósmica da evolução. Isso não é tão surpreendente, já que a formação, o ciclo de vida e a renovação de estrelas, galáxias e outros corpos celestes é o processo evolutivo mais longo que ocorreu no Universo.

Palavras-chave

Era Astro-Galáctica, fase cósmica da Macro-História, leis da evolução, princípios evolutivos universais, Universo, pré-adaptações, Estudos Evolutivos, seleção evolutiva, modelos de evolução aditivos e substitutivos, estruturas em larga escala do Universo, nuvens de poeira de gás, concentração não uniforme de matéria, circulação de matéria no Universo, matéria escura e clara.

Correspondência | Leonid E. Grinin, leonid.grinin@gmail.com

Citação | Grinin, L. (2019) A Era Astro-Galáctica em Termos da Macro-História e da Evolução Universal. *Journal of Big History*, III(4); 123 - 145.

DOI | <https://doi.org/10.22339/jbh.v3i4.3444>

Introdução

“O esforço para entender o Universo é uma das poucas coisas que eleva a vida humana um pouco acima do nível da farsa e lhe dá um pouco da graça da tragédia.” Essas palavras ditas pelo ganhador do Nobel Steven Weinberg (1977: 155) merecem, sem dúvida, atenção, embora dramatizem as origens do interesse acerca dos problemas do Universo. De fato, não precisamos de nenhuma justificativa para explicar o desejo de entender as origens de todos os seres vivos. Essa aspiração de perceber o mundo em sua totalidade está na psique humana, é uma característica integrante da mente, pelo menos de um certo tipo de pessoas que sempre querem alcançar as causas últimas (embora

seja um caminho sem fim). Além disso, nas últimas décadas, a investigação do mundo em sua totalidade (mas não em seus aspectos separados) foi intensificada em particular dentro do campo da Macro-História.

A Macro-História oferece oportunidades únicas para considerar o desenvolvimento do Universo como um processo unificado, para detectar vetores de mudanças de certas características importantes do Universo (como complexidade e energia) em várias fases desse desenvolvimento. Alguns autores analisam importantes mecanismos e padrões evolutivos gerais, que podem ser vistos em todas as fases da Macro-História (por exemplo, Christian 2004, 2014; Spier 2010; Baker 2013). Entretanto, deve-se notar que os estu-

dos da Macro-História tendem a prestar pouca atenção a um aspecto tão importante quanto a unidade de princípios, leis e mecanismos de evolução em todos os seus níveis. Acredito que combinar o potencial da Macro-História com abordagens evolutivas pode abrir horizontes mais amplos nesse aspecto (ver Grinin et al. 2011). De fato, traços comuns de desenvolvimento, funcionamento e interação podem ser encontrados em processos e fenômenos macro-históricos aparentemente bastante diferentes. A esse respeito, a universalidade da evolução é expressa naquelas semelhanças reais que são detectadas em muitas manifestações em todos os seus níveis.

Este artigo continua as tentativas do autor de combinar o potencial da Macro-História com o potencial dos Estudos Evolutivos, a fim de alcançar os seguintes objetivos: 1) aplicar o princípio da narrativa histórica à descrição da era das galáxias-estrelas da fase cósmica da Macro-História; 2) analisar tanto a história cósmica quanto as semelhanças e diferenças entre leis, princípios e mecanismos evolutivos em vários níveis e fases da Macro-História; 3) mostrar como a evolução cósmica se encaixa nos algoritmos evolutivos universais e se correlaciona com as leis e padrões evolutivos comuns. Pouquíssimos pesquisadores abordaram essa tarefa de maneira sistemática. Parece especialmente importante demonstrar que muitos princípios, padrões, regularidades e regras evolutivas, que tendemos a achar relevantes apenas para os níveis mais altos e para as principais linhas de evolução, também podem ser aplicados à evolução cósmica. Além disso, quase tudo o que sabemos sobre evolução pode ser detectado na história cósmica, já que muitas das características evolutivas já se manifestam de maneira bastante clara e distinta. Também devemos ter em mente que a origem das galáxias, estrelas e outros “objetos celestes” é o processo evolutivo mais longo de todos os processos evolutivos do Universo. Essa abordagem abre algumas novas perspectivas para nossa compreensão da evolução e da Macro-História, suas forças motrizes, vetores e tendências; e cria um campo consolidado para pesquisa interdisciplinar.

Ao estudar a questão, ficou claro que o número de semelhanças e características comuns do progresso evolutivo em seus vários estágios e níveis é extremamente grande, que elas podem ser reveladas nos processos e fenômenos aparentemente os mais diferentes. Quase tudo o que sabemos sobre evolução já pode ser encontrado em sua fase cósmica (ver também Grinin 2013, 2014a, 2014b, 2015a, 2015b, 2017, 2018, 2019). Naturalmente, muitos fenômenos são revelados de forma rudimentar ou não sistemática, mas várias características, pelo contrário, são mais claramente expressas justamente na fase cósmica. E, ao mesmo tempo, quando características e aspectos da evolução biológica ou social revelam inesperadamente suas raízes ou formas iniciais em fases anteriores, fica claro que a universalidade da evolução é uma realidade encontrada em muitas manifestações.

Nosso mundo é imensamente diversificado e ilimitado em suas manifestações. No entanto, fundamentalmente, é um mundo único - é por isso que é tão importante estudar esses fundamentos.

I. A FORMAÇÃO DA ESTRUTURA EM GRANDE ESCALA DO UNIVERSO

Pré-condições. Após o Big Bang, nosso Universo “viveu” por um longo período de tempo sem estrelas, galáxias, aglomerados e superaglomerados de galáxias (Khvan 2008: 302)¹. A formação da estrutura moderna do Universo durou bilhões de anos. No entanto, as primeiras estrelas e galáxias surgiram entre 200 e 400 milhões de anos depois do Big Bang (por exemplo, ver European Commission, 2011). Vamos discutir isso em detalhes a seguir. E qual foi a matéria de onde elas emergiram?

Aproximadamente 270.000 anos após o Big Bang, ocorreu uma grande transição de fase, resultando no surgimento de matéria na forma de átomos de hidrogênio e hélio. Mais tarde, eles começaram a se con-

¹ Ver Gorbunov e Rubakov 2012; Guth 1997 Guth A. 2002; Guth 2004; Wood 2018; Grinin 2018 sobre o Big Bang e os problemas teóricos associados a ele.

solidar em novas estruturas (veja abaixo). A principal massa dessa matéria concentrava-se em nuvens de poeira de gás que poderiam ter tamanhos tremendos (dezenas de parsecs ou até mais).²

Hoje em dia, podemos falar sobre esses fragmentos cósmicos, como gás interestelar e poeira cósmica. Eles podem ser encontrados em um estado muito rarefeito ou na forma de nuvens. Mas sabe-se que as nuvens que observamos atualmente consistem em gás e poeira, na maioria das vezes em proporções iguais. Portanto, geralmente se fala de nuvens de gás e poeira.

Pela primeira vez, observamos a Natureza no papel de construtora. Antes disso, ela havia formado apenas os elementos básicos. Agora era possível observar o surgimento de estruturas enormes a partir de pequenas “partículas de poeira”. Depois disso, foi possível observar esse fenômeno constantemente: estruturas de grande escala são compostas por miríades de partículas e grãos.

As sementes necessárias para a estrutura. A formação de nuvens (e mais tarde estrelas e galáxias) significou uma concentração de matéria em enorme escala, que poderia ter sido causada apenas pela gravidade. No entanto, essa única força é insuficiente para a estruturação, porque “em um universo absolutamente homogêneo é impossível o surgimento de estruturas de grande escala (galáxias e seus aglomerados)” (Dolgov et al. 1998: 12–13). Assim, certas sementes são necessárias - isso é comparável à formação de gotas de chuva que emergem em torno de partículas de poeira ou fuligem; ou com a formação de uma pérola em torno de areia.

Muitas vezes, são necessárias pequenas flutuações para que as forças poderosas comecem a trabalhar. Na verdade, pequenas flutuações (pequenos desvios da homogeneidade) ocorreram no Universo desde o princípio. Então as maiores flutuações aconteceram. Eles poderiam atuar como sementes para a formação de galáxias e a matéria se concentrou em torno deles em uma escala muito maior até que a quantidade começasse a se transformar em uma nova qualidade. No

entanto, não está claro que tipo de flutuações causaram a formação de galáxias e qual é o mecanismo de sua formação. As flutuações iniciais em outras esferas evolutivas também permanecem um mistério.

Este é um exemplo perfeito do ponto em que a não uniformidade (em particular no que diz respeito à distribuição de matéria, energia etc.) é uma característica universal. Qualquer grande mudança evolutiva nos sistemas biológicos e sociais é precedida pela concentração de certas formas, recursos e condições em determinados nichos e lugares. Quanto maior o estágio da evolução, mais significativo é esse processo. Assim, no sistema principal, os processos comuns podem prosseguir da maneira usual, enquanto na zona de concentração começam alguns processos peculiares (isso é o que ocorre nas zonas de formação estelar).

Assim, podemos formular uma regra evolutiva sobre flutuações e heterogeneidade importantes. O surgimento da heterogeneidade crítica, que pode ser o núcleo das mudanças, é frequentemente necessário para a mudança evolutiva (mesmo dentro das estruturas de uma transformação típica sem crescimento evolutivo qualitativo). Uma homogeneidade absoluta impossibilita alguns processos evolutivos, ao passo que a menor diferença pode desencadear o reagrupamento de matéria ou elementos na montagem. E, assim, uma nova estrutura e ordem surgem nessa base (consulte Grinin 2017, 2018 para mais detalhes).

A era de formação das estruturas em larga escala no Universo As primeiras galáxias e estrelas

Matéria escura e clara. Atualmente, é geralmente aceito que a matéria escura desempenha um papel importante na formação das primeiras galáxias, pois pareceu capaz de se consolidar em aglomerados muito antes da matéria clara (bárions). Esta última não pôde se contrair até o final da recombinação do hidrogênio (formação de átomos) devido à radiação (270.000 anos após o Big Bang). Somente quando núcleos de hidrogênio e elétrons foram capazes de fundir e formar átomos, ao passo que os fótons se separavam da matéria e voavam para longe, a pressão da radiação caiu drasticamente. Talvez estejamos observando aqui

2 1 parsec \approx 31 trilhões de quilômetros.

um padrão evolutivo muito interessante de uma transição da desordem para a ordem e de entropia decrescente. Esse caso se correlaciona bastante bem com o princípio universal de evolução de Herbert Spencer (Spencer 1862: 495, 1970: 396)³ Ele a formulou como uma lei da transição de uma substância durante seu desenvolvimento qualitativo, de homogeneidade indefinida (não diferenciada e não especializada) para heterogeneidade definida (mais especializada). Como resultado, a matéria clara cairia em buracos potenciais preparados pela matéria escura. Embora a matéria escura fosse inicialmente mais capaz de estruturar do que a matéria clara, o progresso em direção à estruturação acabou sendo muito curto e levando a quase um impasse.⁴ Enquanto isso, o potencial evolutivo da matéria clara foi baseado nas “realizações da matéria escura”. Esse modelo de desenvolvimento é bastante típico da evolução. Por exemplo, muito antes da transição para a agricultura, alguns coletores de cereais inventaram muitas coisas (foices, celeiros e pedras de moer) que mais tarde se tornaram bastante úteis para os agricultores, enquanto caçadores-coletores especializados se tornaram um beco sem saída evolutivo.

A era de formação das estruturas em larga escala no Universo As primeiras galáxias e estrelas

Existem opiniões bastante diversas sobre o tempo, as características do processo e a sequência de forma-

3 É interessante que ele dê um exemplo conectado ao sistema solar. “Se o Sistema Solar existiu em um estado de homogeneidade indefinida e incoerente, e progrediu para seu estado atual de heterogeneidade definida e coerente; então o Movimento, o Calor e a Luz agora exibidos por seus membros são interpretáveis como correlatos de forças pré-existentes; e entre eles e seus antecedentes, podemos discernir relações que não são apenas qualitativas, mas também rudemente quantitativas.

4 Entretanto, como em qualquer beco sem saída evolutivo, isso não significa uma estagnação absoluta. Atualmente, nos halos da galáxia, a matéria escura está estruturada em certas estruturas menores (ver, por exemplo, Diemand et al. 2008).

ção de estrelas, galáxias, aglomerados e superaglomerados de galáxias. Existe uma hipótese de que os protoaglomerados de galáxias foram os primeiros a se originar. Segundo essa hipótese, o mesmo processo que gerou a galáxia poderia operar em uma escala maior, e a primeira geração de nuvens de gás seriam os protoaglomerados que se fragmentaram para formar as galáxias (Peebles, 1980). Fenômenos semelhantes podem ser encontrados em níveis mais altos de evolução, quando algo geral é formado (o que mais tarde se tornará um táxon maior na hierarquia) e depois se diferencia em táxons de ordem mais baixa. É assim que espécies e classes são formadas em biologia. O mesmo se refere a uma sociedade: a princípio emergem formações bastante grandes, como famílias de línguas e depois as línguas, super grupos étnicos e depois grupos étnicos, e às vezes grandes impérios ou estados; e depois, dentro de sua estrutura, o estado se especializa um ou dois níveis. Em outras palavras, emerge uma grande estrutura não diferenciada, capaz de produzir um grande número de estruturas peculiares.

No entanto, uma hipótese mais comumente aceita sugere que as protogaláxias (na forma de nuvens gigantes de gás condensado) foram as primeiras a emergir dentro da estrutura do Universo e depois se tornaram o berço de estrelas e outros elementos estruturais (ver, por exemplo, Gorbunov e Rubakov 2011).

No entanto, nos últimos anos, novas evidências surgiram para apoiar a ideia de que foram as estrelas que apareceram primeiro. Essa descoberta, de alguma forma, modificou as teorias anteriores. Atualmente, é amplamente aceito que as estrelas foram as primeiras a surgir, mas essas eram estrelas gigantes, muito mais massivas do que a maioria das estrelas formadas posteriormente (May et al. 2008). Devido à ausência de carbono, oxigênio e outros elementos que absorvem a energia das nuvens condensadas, o processo prosseguiu mais lentamente naquela época; assim, apenas nuvens gigantes poderiam condensar-se produzindo estrelas massivas centenas de vezes maiores que o Sol (Ibid.). Atualmente, também podemos encontrar gigantes que têm entre 100 e 200 massas solares, mas

elas são consideradas instáveis (ver Surdin, Lamzin, 1992). Tais estrelas gigantes viveram apenas alguns milhões de anos (quanto maior a estrela, menor a sua vida). Além disso, as primeiras estrelas continham uma pequena quantidade de elementos pesados. Assim, mais de uma geração de estrelas poderia passar, até que a quantidade de elementos pesados aumentasse gradualmente. O surgimento de “elementos pesados” dos “restos mortais das estrelas” se assemelha à formação de sedimentos marinhos ou solo fértil na superfície da Terra a partir do acúmulo de esqueletos ou da conversão de restos de plantas mortas. A circulação da matéria no Universo é sempre observada em todos os lugares e em todos os níveis.

Nos últimos anos, testemunhamos a descoberta de algumas galáxias que são consideradas as mais antigas do Universo. Enquanto isso, as datas de formação das primeiras galáxias são deslocadas cada vez mais perto do Big Bang. O surgimento das primeiras galáxias é datado de menos de 400 milhões de anos após o Big Bang; e há até alegações de que algumas galáxias mais antigas foram descobertas. Alega-se que eles surgiram apenas 200 milhões de anos após o Big Bang (ver European Commission 2011). A evidência nas primeiras estrelas refere-se a cerca de 150–200 milhões de anos após o Big Bang - portanto, estrelas e galáxias parecem ter surgido quase simultaneamente. Desde então, a substância no Universo coexiste em três formas principais, dependendo de sua densidade: em um estado denso nos corpos celestes, em uma forma rarefeita em nuvens de tamanhos diferentes e em um estado altamente rarefeito (dezenas de vezes se comparado a nuvens) no gás interestelar.

Assim, as galáxias foram formadas ativamente durante os primeiros 300-400 milhões de anos após o Big Bang. No entanto, embora algumas estruturas já tivessem surgido na época, ainda não eram dominantes no Universo, e ainda eram muito amorfas e instáveis (Hawking 1998). A formação de uma estrutura de grande escala mais ou menos estável levou algum tempo, provavelmente alguns bilhões de anos. Como mencionamos acima, a formação de vários elementos

pesados sem os quais a criação de estrelas resilientes era impossível também levou tempo. A formação do Universo próximo à estrutura moderna dificilmente poderia ocorrer rapidamente.

II. A ERA DA ESTRUTURA ASTRO-GALÁCTICA DO UNIVERSO

Toda a história da fase estrela-galáxia da evolução cósmica é basicamente a história da formação de várias estruturas de tamanhos diferentes, bem como sua fusão em estruturas maiores (mas também é uma história de sua desintegração). A formação de galáxias e seus aglomerados, bem como de estrelas e outros corpos celestes, foi o processo evolutivo mais longo que já ocorreu no Universo. Atualmente, observamos que esse processo ainda está ocorrendo ao lado de mudanças e desaparecimentos de galáxias e estrelas. Durante os primeiros oito bilhões de anos, a formação de uma enorme diversidade de corpos estelares e novos elementos pesados ocorreu no Universo até cerca de 5 a 4,5 bilhões de anos atrás, lá surgiram as condições para a formação de sistemas estelares (como o Sistema Solar). Em um dos planetas do Sistema Solar, iniciaram-se novos processos geológicos, químicos e bioquímicos (para mais detalhes, ver Christian 2004; Lin 2008; Batygin et al. 2016; Grinin 2017, 2018).

1. A estrutura do universo

1.1. Princípios evolutivos da estrutura do Universo. A formação de galáxias e seus aglomerados foi provavelmente um processo que durou bilhões de anos. Alguns princípios que descrevem a estrutura básica do Universo podem ser aplicados a diferentes níveis de evolução (abaixo, consideraremos apenas dois deles).

1) A combinação de qualidades antagônicas. Por exemplo, na estrutura do Universo, pode-se encontrar a combinação de uniformidade e não uniformidade. A uniformidade já se manifesta na fase de inflação, quando o Universo começou a inflar uniformemente em todas as dimensões. A uniformidade foi preservada até o presente, mas apenas na maior escala (de uma ordem de magnitude de 100 megaparsecs). Para referência, o tamanho dos maiores aglomerados de galá-

xias (como nosso Grupo Local com o centro na constelação de Virgem) é de no máximo 40 megaparsecs (Gorbunov e Rubakov 2011). A não uniformidade do Universo se manifesta em escalas menores que 100 megaparsecs; e quanto menor é a escala, mais saliente é a irregularidade. A combinação de qualidades antagônicas é um fenômeno que é bastante característico para muitos outros níveis evolutivos. Assim, as noções antagônicas como “superfície homogênea” e “superfície irregular” são bastante aplicáveis à superfície da Terra: aos olhos dos pássaros, a superfície parece homogênea.

2) *Densidade e dispersão podem ser rastreadas em toda parte*, começando pela estrutura atômica, onde a massa está concentrada em um núcleo minúsculo, enquanto a maioria do átomo é um espaço vazio. Existe uma enorme não uniformidade entre a escala do Universo e o espaço que a massa principal da matéria clara ocupa dentro dela (pelo menos, bariônica). Ela concentra-se, antes de tudo, em estrelas, que na verdade ocupam apenas uma parte de 10^{-25} do volume total do Universo (sem levar em conta os núcleos das galáxias [Pavlov 2011: 43]). Havia tais proporções no universo antigo? Provavelmente não. Portanto, a concentração da matéria está aumentando. Não apenas a matéria dura é distribuída de maneira muito desigual pelo Universo; o mesmo vale para o gás. Grande parte desse gás está concentrada em nuvens moleculares gigantes, que são de muitos milhares de massas solares (Lipunov 2008: 37).

Ao mesmo tempo, a diferença de densidade é fractal, o que é especialmente evidente nas zonas de alta densidade. Os fatores que contribuem para essa desigualdade nem sempre são claros; por exemplo, não está claro com o que estão relacionados a distribuição desigual de massas durante a formação de galáxias (Weinberg, 1977) e muitos outros processos de distribuição, como a concentração e dissipação.

Mas os princípios de distribuição desigual da massa de matéria em diferentes níveis evolutivos são bastante semelhantes. Por exemplo, atualmente a massa principal da população da Terra está concentrada em

um território bastante pequeno em comparação com o território total em que a vida na Terra é possível.

1.2. A estrutura atual do Universo

Os principais elementos estruturais do Universo são galáxias, seus aglomerados e superaglomerados. Os superaglomerados formam basicamente nossa Metagaláxia⁵. Todos os elementos estruturais são bastante estáveis em termos de gravitação, embora possam se dividir, fundir e colidir.

As galáxias são entidades estruturais integrais com uma estrutura bastante complexa que inclui, além de regiões e braços, um núcleo (centro), semi-periferia (chamada “disco”) e periferia (chamada “auréola”) (Baade 2002: 255) A auréola consiste tanto de estrelas separadas quanto de vários aglomerados estelares. O raio da auréola (algumas centenas de milhares de anos-luz) é muito maior que o raio do disco da galáxia.⁶

Segundo Hubble, as galáxias são classificadas como espirais, elípticas e irregulares com vários subtipos (Ibid.: 18–32); no entanto, mais um tipo de galáxia foi identificado - as galáxias lenticulares.

Uma galáxia contém cerca de 100 a 200 bilhões de estrelas. Existem galáxias pequenas (anãs) com alguns milhões de estrelas, também existem galáxias gigantes que consistem de até um trilhão de estrelas. Nossa galáxia, com sua massa de cerca de 10^{11} massas solares, é uma das maiores. Ele contém de 200 a 300 (ou ainda

5 Se, de acordo com alguns pesquisadores, a Metagaláxia não é a única no Universo, por algum tempo será considerada a maior unidade estrutural do Universo (Pavlov 2011: 52). Se o Universo não é um Universum, mas um assim chamado Multiverso, os Universos ou seus grupos serão a unidade máxima da estrutura (ver Vilenkin 2006; 2010).

6 Pode haver uma auréola invisível que consista de matéria escura atrás da auréola visível. Ela pode ser encontrada em muitas (se não em todas as) galáxias, nas quais o diâmetro da auréola escura pode exceder o diâmetro da auréola visível em uma ordem de magnitude (ver Ryabov et al. 2008: 1131).

mais) bilhões de estrelas. No entanto, a massa da nossa vizinha - a Nebulosa da Grande Andrômeda (M31, encontrada em nosso aglomerado de galáxias (o Grupo Local)) - é cerca de três vezes maior. Provavelmente, o M87, mais famoso, situado na parte central do aglomerado de galáxias na constelação de Virgem, possui a maior massa. Aparentemente, a massa desta galáxia excede em centenas de vezes a massa da nossa galáxia. No outro polo, existem galáxias anãs cujas massas são de aproximadamente 10^7 massas solares, ou seja, dezenas de vezes mais que a massa de aglomerados globulares (Shklovskii 1978: Parte 1, Capítulo 6).

As estrelas estão distribuídas de maneira bastante desigual pelas galáxias, elas são partes de vários grupos e aglomerados; alguns deles consistem em apenas algumas estrelas, mas outros aglomerados podem conter alguns milhões. Por exemplo, dentro de nossa galáxia, mais de 1.500 aglomerados de estrelas foram identificados (Surdin 2001). Existem muitos aglomerados globulares - aglomerados esféricos fortemente ligados pela gravidade e consistindo de centenas de milhares de estrelas, quase sempre, bastante antigas. Essas são estrelas antigas (existem entre 50 e 200 em nossa galáxia). Elas são cerca de 22% das estrelas entre as galáxias mais próximas. Nessas galáxias, um corpo achatado principal e brilhante, “uma lente”, é cercado por uma auréola fraca. Às vezes, a lente é cercada pelo anel (ver: Novikov 1979: cap. 1, § 8). Mais da metade dos membros do Grupo Local são galáxias elípticas mais antigas com luminosidade intermediária ou baixa (Novikov 1979: 31). As galáxias são sistemas complexos e (em grande parte) auto-reguláveis, nos quais algumas estrelas se desintegram, enquanto novas estrelas se formam a partir de gás e poeira cósmicos. A circulação (que resulta em processos de renovação da matéria e sua mistura) ocorre em todos os níveis do Universo - tanto espacialmente quanto em diferentes níveis de complexidade evolutiva.

Um aglomerado de galáxias médio consiste de 500 a 1000 galáxias. Os aglomerados de galáxias têm uma estrutura bastante regular que geralmente inclui um núcleo maciço no centro. Os superaglomerados de

galáxias são entidades que consistem de 2 a 20 aglomerados de galáxias e grupos de galáxias, além de galáxias isoladas. São conhecidos mais de 20 superaglomerados, incluindo o nosso Grupo Local (Gorbunov, Rubakov 2012: 4).

1.3. Gerações de galáxias e estrelas

Existem opiniões bastante diversas sobre o número de gerações ao longo da evolução do Universo. Além disso, não há consenso sobre quais galáxias devem ser consideradas antigas e quais galáxias devem ser consideradas jovens. O ponto é que dentro de uma única galáxia é possível encontrar estrelas e seus agregados que diferem consideravelmente em tipo, idade e outros parâmetros. Por exemplo, a idade da nossa Via Láctea é superior a 12 bilhões de anos, mas essa é apenas a sua auréola, enquanto muitas estrelas em suas ramificações têm apenas dois a cinco bilhões de anos ou ainda menos. No entanto, parece possível destacar algumas idéias básicas amplamente aceitas.

1) Na evolução do Universo, houve três (ou pelo menos duas) gerações de galáxias e estrelas. Em geral, as galáxias antigas são menores e de brilho mais fraco. Suas estrelas contêm dezenas de vezes menos quantidades de elementos pesados que o Sol. Os astrônomos dificilmente podem observar qualquer processo de formação de estrelas nessas galáxias. Existe também a hipótese de que mais massa escura se concentre nas galáxias antigas em comparação com as mais jovens. Da mesma forma, estrelas mais velhas e mais jovens diferem entre si em tamanho, luminosidade e composição química.

2) É difícil falar de uma clara periodização de gerações de galáxias, devido ao processo contínuo de formação de galáxias e estrelas. As galáxias precisam renovar constantemente sua composição para manter sua identidade. Como Iosif Shklovskii sustenta, a esse respeito as galáxias são muito semelhantes às florestas primárias com sua mistura de idades das árvores (enquanto a idade das árvores é muito menor que a idade da própria floresta [Shklovskii 1978]). A motilidade e variabilidade da paisagem celeste se assemelha muito

à motilidade das paisagens geológicas.

3) A formação de galáxias pode ocorrer de diferentes maneiras, por exemplo, através da absorção de galáxias menores pelas maiores, em particular como resultado de uma colisão. Se uma pequena galáxia entra em colisão com uma enorme, é absorvida pela última e perde sua identidade. Toda vez que passam perto de uma galáxia massiva, as estrelas de uma galáxia pequena se separam dela (May et al. 2008). Nesse caso, agrupamentos jovens e velhos de estrelas são misturados (veja abaixo). Outra maneira é a fusão de galáxias. Às vezes, as galáxias das gerações mais jovens podem se formar através do acúmulo de algumas galáxias pequenas, fracas e compactas em uma única galáxia. Nesse caso, eles se tornaram “blocos de construção” para galáxias. Finalmente, pode acontecer que duas galáxias grandes colidam. Tal colisão pode levar bilhões de anos e ser acompanhada por formação estelar ativa e surgimento de estrelas muito grandes e brilhantes. As últimas características significam que estas são estrelas de vida curta, ou seja, haverá muitas explosões de nova e supernova. Finalmente, as galáxias podem divergir novamente, mas neste caso elas se mostram muito diferentes do que costumavam ser antes da colisão, enquanto uma galáxia a mais pode emergir da matéria separada das duas galáxias (ver May et al. 2008: 142).

Existem inúmeras analogias para esses modelos de formação de galáxias na evolução biológica, geológica e, principalmente, social. Como estrelas e galáxias são compostas de matéria mais ou menos homogênea (que pode ser dividida ou unida com bastante facilidade), elas de alguma forma se assemelham paradoxalmente a sociedades que consistem em pessoas que podem ser incluídas em outras sociedades por meio de integração ou captura. Por outro lado, as capturas também são vistas entre animais sociais (por exemplo, entre formigas, veja Genet 2007).

4) Galáxias são coleções de diferentes tipos de estrelas. Entretanto, existem certas peculiaridades em relação à posição de estrelas velhas e jovens nas galáxias que provavelmente estão relacionadas à auto-re-

gulação nos sistemas galácticos ou às peculiaridades da formação de estrelas que ocorrem em grandes grupos ou devido a outros fatores (sobre a auto-regulação no mundo cósmico, ver Grinin A. 2016). Assim, dentro de nossa galáxia, as estrelas mais jovens (como o Sol, que tem alguns bilhões de anos) são geralmente maiores, mais quentes e mais brilhantes. Elas estão localizadas em próximas ao plano do disco e, principalmente, dentro dos braços da galáxia; enquanto na periferia da galáxia (em sua auréola), encontramos estrelas mais velhas com mais de 12 bilhões de anos (o que sugere a idade geral da galáxia). No entanto, estrelas mais velhas e mais jovens também podem estar localizadas bem próximas umas das outras. Assim, pode-se encontrar muitas estrelas antigas perto do centro da galáxia (protuberância), mas também existem estrelas jovens que emergiram da matéria produzida pela desintegração das estrelas mais antigas. A maior densidade estelar é encontrada no centro da galáxia, onde atinge algumas estrelas por parsec cúbico.

Como já mencionamos, as estrelas muito antigas, com pouco brilho, pouco calor e pouca massa contêm quantidades muito menores de elementos pesados que o Sol. Não é de surpreender que essas estrelas mais velhas e as estrelas jovens, quentes e brilhantes da superfície do disco, braços e auréola tenham sido rotuladas diferentemente como “População I” e “População II”, respectivamente.⁷ É geralmente aceito que a maioria dos aglomerados globulares é muito antiga (12 bilhões de anos ou mais). Mas os aglomerados galácticos dispersos ou abertos são dezenas ou até cem vezes mais jovens que os aglomerados globulares (ou seja, têm apenas centenas de milhões de anos). Mas existem associações estelares mais jovens (ver, por exemplo, Surdin e Lamzin 1992; Surdin 2001).

Por um lado, a preservação de gerações de estre-

⁷ Observe que, quando apareceu uma evidência da existência das estrelas da primeira geração que surgiram na idade do Universo de 150 milhões de anos desde o momento do Big Bang (veja acima), elas foram nomeadas “População III” para seguir a designação convencional.

las e galáxias demonstra um caráter aditivo da evolução dos sistemas abióticos, enquanto que podemos ver elementos do modelo substitutivo da evolução na fase biológica e seu sistema completo na fase social da Macro-História. No entanto, a captura de estrelas e galáxias com sua subsequente integração e processos prolongados de colisão de galáxias demonstra que em sistemas naturais abióticos ainda podemos encontrar alguns outros modelos de evolução - conectados com “guerras” e “submissão de estrangeiros”.

O tipo de desenvolvimento através do surgimento de diferentes gerações de indivíduos e espécies (preservando certas características genéticas, por um lado, e acumulando mudanças importantes em sua estrutura e características, por outro) é bastante difundido em todas as fases e níveis da evolução universal. Dentro de qualquer classe ou ordem biológica (por exemplo, perissodáctilos), podemos ver como as características importantes variam e mudam gradualmente de uma espécie para outra, enquanto que, devido a essas características, algumas espécies extinguem outras e ocupam nichos melhores (veja, por exemplo, Grinin, Markov, e Korotayev 2008). Vários tipos de estados e civilizações também ilustram de maneira bastante vívida o progresso: por exemplo, estados mais organizados e desenvolvidos emergem através da absorção das realizações de gerações menos desenvolvidas de estados, que podemos ilustrar usando exemplos da história da Roma Antiga, Bizâncio, alguns estados europeus medievais e assim por diante. A coexistência de gerações diferentes às vezes leva à situação em que entidades mais jovens e mais avançadas transformam as mais antigas ou formam uma simbiose com elas (embora em alguns lugares possam ser encontradas “restrições” para tipos e gerações mais velhos).

1.4. Alteração da composição química do Universo

O hidrogênio sempre foi o elemento mais abundante na composição química do Universo; no entanto, sua participação diminuiu constantemente. Isso ocorreu (e ocorre) porque o hidrogênio é o principal combustível das reações de fusão nuclear que sustentam a

vida e a luminosidade das estrelas. Apesar das enormes quantidades de energia liberadas durante essas reações, a taxa de liberação de energia é muito baixa. Por exemplo, a intensidade da radiação solar é de 2 erg/g·s, o que é quase igual a uma pilha de folhas em chamas. As estrelas brilham intensamente porque são massivas e enormes (Surkova 2005: 9).

O aumento da temperatura dentro do núcleo de algumas estrelas foi necessário para a formação de novos elementos ausentes na era da recombinação. No entanto, todas as reações de fusão que ocorrem para produzir elementos maiores que o ferro não liberam mais energia. Reações de outro tipo são necessárias para a formação de elementos mais pesados que o ferro - a energia consumida por essas reações é maior do que a energia liberada. É por isso que existem quantidades relativamente pequenas de elementos pesados no Universo. No entanto, essas reações peculiares ocorrem - por exemplo, em estrelas de nêutrons e durante explosões de supernovas. Nas supernovas, durante suas explosões, em apenas 100 segundos são formados elementos pesados do final da tabela periódica de Mendeleev, incluindo urânio e tório (Surkova 2005: 9).

Quando as supernovas explodem, elementos pesados são expelidos através do Universo com ventos estelares e através da queda da matéria dispersa na superfície dos corpos celestes (a chamada acreção). Como as estrelas se mostram os principais centros da síntese de elementos químicos, a distribuição de elementos pesados no Universo é muito pouco homogênea.

O surgimento de elementos pesados e sua concentração em certos corpos e composições são processos extremamente importantes, que levam a um enorme aumento no número de combinações de matéria e, conseqüentemente, têm um potencial evolutivo; em particular, eles levam ao início dos processos químicos, bioquímicos e biológicos em grande escala. Em certos aspectos, essa acumulação lenta e desigual de novos elementos estruturais (elementos pesados) se assemelha ao processo de acumulação de mutações

valiosas na evolução biológica ou acumulação de inovações valiosas na evolução social (todas elas trazem a expansão da evolução potencial e aumentam as taxas de mudanças evolutivas).

As semelhanças e diferenças de composições estelares (a presença de elementos pesados) se parecem, em alguma medida, com as semelhanças e diferenças no genoma. Todos os organismos vivos têm essa mesma estrutura semelhante e todas as grandes diferenças são causadas por pequenas divergências (em vários pontos porcentuais) nos genes.

2. A evolução das galáxias e das estrelas

2.1. Processos de formação de galáxias e estrelas

Até bem recentemente, os processos de formação de estrelas eram inteiramente inacessíveis para um observador externo; no entanto, atualmente, devido ao progresso tecnológico, podemos observar alguns aspectos desses processos em muitas partes da nossa galáxia. Essas observações confirmam a teoria da formação estelar a partir de aglomerados frios que são aquecidos por gravidade e pressão.

Resumidamente, esse processo pode ser descrito da seguinte maneira. Nas nuvens gigantes de hidrogênio e hélio, emergem algumas heterogeneidades, que iniciam (sob certas condições) os processos de gravitação que começam a coletar essa massa em formas esféricas. Às vezes, ocorre uma formação direta de uma massa gigante de nuvens de gás, da qual emerge uma galáxia ou um aglomerado de estrelas. Nesse caso, a fragmentação das nuvens pode ocorrer e, assim, mais e mais esferas de nuvens de gás (podem existir centenas de milhões, ou mesmo centenas de bilhões) emergem, as quais podem gradualmente se transformar em protoestrelas. Esse processo continua até o ponto em que a densidade do gás se torna tão alta que cada novo fragmento já possui a massa de uma estrela (Surkova 2005: 49). Então a gravidade começa a impedir mais fragmentação. Esse processo é descrito como “fragmentação em cascata”. É notável que se assemelhe a certos processos na evolução social - por exemplo, a fragmentação de grandes estados antigos em partes

separadas que descentralizam até o ponto em que uma divisão adicional se torna implausível (por exemplo, em certos períodos, houve dezenas e centenas de estados independentes nos territórios da Alemanha ou da França).

À medida que enormes nuvens de gás / poeira parecem instáveis, elas se desintegram em grandes feixes, assim a formação de estrelas prossegue em grupos. Esse fenômeno é de interesse não apenas no que diz respeito à evolução estelar. A formação de grupos é bastante típica da evolução em geral (desse modo, populações e às vezes novas espécies emergem; chefias, cidades-estado e às vezes partidos políticos emergem em grupos, e assim por diante).

O processo adicional da formação estelar está conectado ao ponto em que a compressão inicial aqueceu o gás a uma temperatura bastante alta o que, por um lado, impede a compressão adicional do gás e, por outro lado, contribui para o início da reação de fusão nuclear (Hawking 1998).

II.2. Diversidade de estrelas e galáxias

A diversidade é uma condição absolutamente necessária do desenvolvimento evolutivo. E essa condição é totalmente efetivada dentro da evolução cósmica. Como foi mencionado acima, as galáxias diferem em seus tipos, idade, tamanho e estrutura. Elas também diferem em muitas outras características, incluindo composição química e o sistema imediato ao qual pertencem, por exemplo, se são estrelas binárias ou isoladas, se as estrelas têm ou não um sistema planetário, etc. Essas diferenças podem variar bastante.

O impacto variável da gravitação e o comportamento peculiar resultante das massas de nuvens de gás podem se tornar o motivo da formação de diferentes tipos de galáxias. Isso significa que as galáxias nascem como espirais ou elípticas e o tipo de galáxia é preservado no curso de sua evolução. Em particular, uma estrutura galáctica é em grande parte determinada pelas condições iniciais de sua formação (por exemplo, pelo caráter de rotação do grupo de gases original a partir do qual uma galáxia é formada).

As estrelas diferem em massa, temperatura, composição química, luminosidade, idade e outras características. Essas diferenças podem variar bastante. Por exemplo, no que diz respeito às massas, as estrelas variam em massa de cerca de 0,1 a 100 ou mais massas solares. Existem algumas considerações de que as fusões termonucleares não podem acontecer em uma estrela com massa inferior a 8% da massa solar, razão pela qual esses objetos não são descritos como estrelas. É bastante natural que o número de entidades menores seja ordens de magnitude maiores que o número de entidades maiores⁸; na verdade, o mesmo fenômeno pode ser observado, por exemplo, em Zoologia ou Geografia Política, onde o número de pequenos animais ou países é muito maior que o dos grandes.

11.3. O ciclo de vida de uma estrela: Estágios de nascimento, envelhecimento e morte estelares

Protoestrelas. Como mencionado acima, as estrelas emergem através da condensação e compressão de nuvens de gás sob a influência de forças gravitacionais. Esta é uma fase protoestelar. Em comparação com a vida subsequente de uma estrela, o período de sua lenta contração parece bastante curto; no entanto, na verdade, esse não é um processo rápido, pois às vezes demora até 50 milhões de anos (Surkova 2005: 50). Durante esse período, há um tremendo aumento da temperatura no centro da protoestrela, a temperatura pode crescer de 8 a 10 milhões Kelvin e, como resultado, reações termonucleares se tornam possíveis. A protoestrela se torna uma estrela jovem. No entanto, um observador externo só poderá vê-la em algumas centenas de milhares (ou mesmo alguns milhões) de anos, quando o casulo de gás e poeira ao redor da protoestrela se dissipar.

Na verdade, lidamos com uma espécie de milagre - um corpo incandescente gigante e brilhante, capaz de viver bilhões de anos, emerge de um absolutamente amorfo, uma névoa de gás sem estrutura, opaca e fria.

8 Assim, para cada dez milhões de anos vermelhas, encontramos apenas 1.000 gigantes e uma supergigante (Surkova 2005: 26).

Em outras palavras, lidamos aqui com um exemplo vívido de auto-organização que ocorre sob a influência das leis da gravitação e da termodinâmica. Em particular, uma intensa contração leva ao aquecimento, o que aumenta a pressão interna, o que, eventualmente, interrompe o processo de compressão (para mais detalhes sobre os processos de surgimento de estrelas jovens, incluindo a observação direta deles e o nascimento do Sol, consulte Marakushev. et al. 2013; Marov et al. 2013; Grinin 2017, 2018).

Pode-se notar também que o surgimento de estrelas e galáxias deve ter um certo gatilho que cria turbulência e heterogeneidade. Esses gatilhos e catalisadores são os componentes inerentes dos mecanismos evolutivos que podem ser encontrados em muitos processos: em processos químicos e geológicos, na evolução biológica com relação à formação rápida de espécies ou na evolução social com relação à formação de estados (ver Grinin 2011 para mais detalhes). A onda de choque da supernova, a colisão de uma nuvem molecular com braços espirais de uma galáxia e outros eventos podem se tornar um gatilho da formação estelar (Surkova 2005: 50).

Outra (a mais longa) macrofase é a estrela de sequência principal. Durante esta fase da vida estelar, as reações de fusão nuclear que transformam hidrogênio em hélio no núcleo mantêm a estrela brilhando. É por isso que a duração da fase de sequência principal depende principalmente da massa estelar. Quanto mais maciça for a estrela, menor será sua vida útil na sequência principal (como em uma massa maior, os processos de “queima de combustível” são mais intensos). Uma estrela preserva seu tamanho e forma devido à luta mútua de duas forças: a gravidade que tenta comprimir a estrela e a pressão do gás produzida como resultado de reações nucleares e do forte aquecimento. Existe um equilíbrio dinâmico entre temperatura e pressão do gás. Com a temperatura crescente, o gás se expande e trabalha contra as forças da gravitação, o que resulta no resfriamento da estrela; desta forma, o equilíbrio térmico é mantido. Durante a vida de estrelas e galáxias, bem como em todos os outros níveis de

evolução, encontramos numerosos casos e formas diferentes de interação entre dois processos opostos, que possibilitam a vida de “indivíduos”. Os processos de assimilação e dissimilação dão suporte às atividades vitais dentro de organismos biológicos; os processos de reprodução animal e seu extermínio por predadores sustentam o equilíbrio da população; a interação entre processos de produção e consumo é a base da reprodução dos sistemas sociais, e assim por diante.

Gigantes vermelhas. A nova fase da evolução estelar está ligada ao esgotamento dos estoques de hidrogênio. A pressão do gás (que mantinha o equilíbrio estelar quando o combustível necessário estava disponível) diminui e o núcleo estelar é comprimido. Isso leva a um novo aumento de temperatura. Uma estrela começa a queimar elementos mais pesados e, portanto, a composição estelar muda significativamente. Simultaneamente à compressão do núcleo, as camadas externas da estrela se expandem (elas podem até se desprender para formar uma nebulosa gasosa). Em geral, a estrela infla e expande atingindo um tamanho algumas centenas de vezes maior, se transforma em uma gigante vermelha e, em seguida, com mais expansão - em uma supergigante vermelha (grandes estrelas com mais de dez massas solares se transformam diretamente em supergigantes). Essa fase dura cerca de um décimo da “vida ativa” de uma estrela, enquanto os processos de fusão nuclear prosseguem em suas profundezas.

Morte em estrela: três casos. A próxima fase é a transformação de uma gigante vermelha ou supergigante. Na verdade, a nova forma depende da massa estelar e de várias outras características, como a rotação e velocidade estelares, o grau de sua magnetização e assim por diante. Os três resultados a seguir são considerados os mais típicos. Eles dependem da massa estelar (mas as estimativas do valor limite variam significativamente e, portanto, abaixo mencionarei os principais valores alternativos após a barra)⁹. Estrelas com massas menores que 1,2-

1,4 / 3 massas solares se transformam de gigantes vermelhas em chamadas “anãs brancas”, quando a estrela lança seu envelope externo para formar uma nebulosa planetária com um núcleo extremamente contraído (até o tamanho da Terra). A compressão adicional não ocorre devido à chamada pressão gerada pelo gás de elétrons que não depende da temperatura. Como resultado, a anã branca é bastante estável. No entanto, devido à falta de hidrogênio e hélio, as fusões term nucleares não podem mais prosseguir dentro dessa estrela. Uma anã branca está muito quente quando é formada; contudo, depois a estrela esfria e se transforma em uma “anã negra”, isto é, torna-se um corpo cósmico morto e frio.

Para estrelas com massa inicial superior a 1,2-1,4, mas inferior a 2,4-3 (em outros cálculos de 3 a 7-10), o envelhecimento lento e gradual resulta em um “infarto”, que é um colapso. Após o esgotamento do hidrogênio e a diminuição da pressão interna do gás (que costumava equilibrar a gravidade), sob a influência da gravidade o núcleo fica extremamente comprimido (dezenas de milhares de vezes - até o raio de dez quilômetros), em menos de um segundo. Quase simultaneamente, as camadas externas da estrela são sopradas com uma velocidade enorme como resultado de uma onda de choque. Essa supernova brilha mais que milhões de estrelas comuns, mas por um período muito curto de tempo. Essa explosão expelle o material estelar para o meio interestelar e, portanto, ocorre a formação de quantidades consideráveis de elementos pesados (mais pesados que o ferro) que depois se concentram em vários corpos celestes. O núcleo restante se contrai para se tornar uma estrela de nêutrons (que deveria conter um fluido super denso de nêutrons). Em seu tamanho, essa estrela é 5 bilhões de vezes menor que o Sol, mas é centenas de milhares de vezes mais brilhante porque a temperatura em sua superfície é

parece possível subdividir todas as estrelas apenas em duas classes: a) estrelas massivas (com uma massa superior a 10 massas solares) que produzem estrelas de nêutrons e buracos negros e b) não massivas, que produzem anãs brancas (Lipunov 2008: 99).

⁹ De acordo com uma das classificações (que pode ser mais correta do que a reproduzida abaixo),

1000-1500 vezes maior que a do Sol (Lipunov 2008: 133).

Se a massa estelar exceder o limite de $3/7$ a 10 massas solares, depois que o hidrogênio for queimado, ele começará a entrar em colapso e a explodir (embora às vezes possa entrar em colapso sem uma explosão), mas a força de compressão será ilimitada, à medida que a gravidade se tornar enorme por causa da enorme massa e ausência de forças internas que podem impedir o colapso. A ação da força gravitacional que age sem contrapesos leva à situação em que o diâmetro estelar se torna infinitesimalmente pequeno. De acordo com cálculos teóricos, a estrela é transformada em um buraco negro cujos campos de gravidade são fortes demais para a luz escapar.

III. PRINCÍPIOS EVOLUCIONÁRIOS UNIVERSAIS NA ERA ASTRO-GALÁCTICA

1. Vida, Morte e Catástrofes no Aspecto Evolutivo

O caráter irreversível da evolução é sua característica mais importante. A evolução pode ser observada como um movimento constante para estruturas e formas de organização mais complexas, em direção à mudança da composição química do Universo, etc. Quanto aos objetos individuais, o caráter irreversível da evolução é óbvio e inquestionável. Uma estrela que passou por uma certa fase da vida não pode entrar novamente nessa fase. **A vida estelar em termos de manutenção e quebra do equilíbrio dinâmico.** Na fase inicial, uma nuvem de gás “queima” a si mesma sob a compressão, como palha ou trapos acesos espontaneamente. A próxima fase da auto-organização está conectada com a formação de estrutura estelar complexa na fase principal da sequência, durante a qual ocorre queima do hidrogênio. Depois de queimar a maior parte do hidrogênio, uma estrela entra em uma nova fase, se expande e se transforma em uma gigante vermelha. Ao mesmo tempo, os processos de auto-organização recomeçam e a estrutura estelar muda radicalmente (o núcleo altamente compactado coexiste com os envoltórios expandidos). Depois que o combustível

é queimado em uma gigante vermelha, a próxima fase é a compressão sob a influência da força gravitacional e a formação de uma estrutura totalmente nova: um núcleo pequeno, mas muito massivo, com densidade extremamente alta da matéria dentro dele.

Consideremos a vida estelar em termos de manutenção e quebra do equilíbrio dinâmico. Primeiro de tudo, há um equilíbrio térmico, quando a taxa de energia produzida no núcleo (através de fusões termonucleares) equilibra a perda de energia através da emissão de radiação no espaço. Esse equilíbrio é quebrado quando o combustível de hidrogênio se esgota. As reservas são aparentemente compensadas quando uma estrela começa a usar outro tipo de energia. Isso pode ocorrer através da contração da estrela, que começa a fundir hélio em carbono, produzindo muitas vezes mais energia para cada átomo; posteriormente, os elementos mais pesados podem ser usados como combustível, e cada elemento mais pesado produzirá mais e mais energia por átomo. Enquanto isso, o núcleo da estrela começa a aumentar de temperatura. Há equilíbrio em termos de pressão de forças diferentes e preservação de uma certa forma e tamanho da estrela. Na fase da sequência principal, o equilíbrio é mantido à medida que a gravidade puxa toda a matéria estelar para dentro, em direção ao núcleo, enquanto a pressão do gás empurra o calor e a luz para longe do centro. Essa pressão existe até que as reservas de combustível nuclear se esgotem (Efremov 2003: 97). Em relação às gigantes vermelhas, pode-se falar em equilíbrio de outro tipo em duas dimensões. No núcleo, a temperatura aumenta devido à contração e começam as reações termonucleares de níveis mais altos (descritos acima); como resultado dessas reações, a temperatura pode crescer até 100 milhões de Kelvin. É por isso que uma gravidade mais forte é equilibrada por uma pressão de gás mais forte (devido à temperatura). Enquanto isso, dentro do envólucro, o equilíbrio é alcançado através da expansão múltipla das camadas externas. Nas estrelas de nêutrons e nas anãs brancas, as fases subsequentes da vida estelar, existe o seu equilíbrio peculiar.

O problema da morte do indivíduo. A morte como uma oportunidade para a vida continuar.

Vida e morte estelares dificilmente podem deixar alguém indiferente. Na verdade, dentro da estrutura da Macro-História, é a primeira vez que nos deparamos com o problema de um ciclo de vida de objetos individuais de uma forma tão explícita. Por um lado, o destino, a vida útil e o tipo de morte da estrela dependem dos parâmetros iniciais, como se fossem “programados geneticamente” (e, portanto, podem ser previstos); por outro lado, eles podem ser alterados por algumas contingências. Assim, o destino da estrela não é “fatal”, de fato. Os sistemas estelares binários aumentam muito a variabilidade dos destinos estelares individuais; como diz Lipunov (2008: 252), tratamos aqui de uma espécie de “evolução quadrática”. Além disso, é realmente possível falar sobre diferenças no comportamento estelar “individual” ou “dentro de um grupo”, porque a interação de duas, três ou mais estrelas pode levar a diferenças muito significativas e resultados incomuns que não podem surgir dentro a trajetória de desenvolvimento de estrelas individuais. De fato, padrões semelhantes são observados em outros níveis de evolução, quando o comportamento de pares ou grupos de indivíduos produz resultados radicalmente diferentes daqueles observados em relação ao comportamento de um indivíduo que não interage com os outros.

Finalmente, o significado da morte do indivíduo para a evolução pode ser diferente. Até um certo grau, pode-se observar uma correlação direta entre a “força” da morte, o poder da explosão estelar e a formação de condições para uma nova busca evolutiva. Explosões estelares afetam a dinâmica de seu ambiente; conseqüentemente, elas podem ajudar a criar condições incomuns que contribuem para o surgimento de certos desvios de desenvolvimento. Dentro de dezenas de milhares de anos, a zona de explosão se expande para uma vasta área de meio interestelar (cobrindo as distâncias de dezenas de parsecs); nesta área, pode-se ver a formação de novas condições físicas (em particular temperatura, densidade de raios cósmicos e força dos campos magnéticos). Tal distúrbio enriquece a respectiva zona com raios cósmicos e traz mudanças

na composição química (Shklovskii 1978). As explosões também contribuem para a formação de estrelas. Assim, uma estrela não morre em vão. Pode-se traçar aqui uma analogia interessante com extinções na evolução biológica que contribuem para novas direções da especiação. A destruição estelar também pode ser comparada à desintegração de grandes impérios, com todas as repercussões subseqüentes. A desintegração de um grande império leva a uma cascata de novos estados se formando tanto no lugar do império quanto além de suas fronteiras. Detonações históricas contribuem para a politogênese da mesma maneira que as detonações cósmicas contribuem para a formação de estrelas.

Estrutura, auto-organização e estrutura de bonecas aninhadas Toda a história da fase astro-galáctica da evolução cósmica é a história da formação de várias estruturas com diferentes tamanhos e agrupamentos dessas estruturas em estruturas maiores. Ao mesmo tempo, como já mencionamos, lidamos aqui com a capacidade dos objetos de se auto-organizarem em todas as fases da evolução universal e individual. É muito importante que a estruturação ocorra não apenas entre estrelas e galáxias, mas também entre nuvens moleculares. Este último pode ser considerado como um ramo paralelo da evolução. O paralelismo desempenha um grande papel na evolução, aumentando drasticamente as oportunidades de transição para algo novo e criando um campo de contatos entre várias direções da evolução (veja abaixo).

Eles geralmente têm uma estrutura bastante complexa de “boneca russa”, na qual condensações menores e mais densas são colocadas dentro de outras maiores e mais escassas (ver Surkova 2005: 48). A estrutura de bonecas russas também é típica para níveis mais altos de evolução. Assim, grupos menores de animais sociais e gregários constituem grupos maiores e tendem a reproduzir sua estrutura. O mesmo se refere à evolução social, em particular às entidades não centralizadas: por exemplo, as formações tribais, cujas partes constituintes (linhagens, clãs e sub-tribos) frequentemente reproduzem a estrutura (e os princípios estruturais) da tribo. É por isso que as tribos podem facilmente se dividir e se fundir quando necessário. O

mesmo se aplica aos rebanhos de animais gregários.

Síntese de gradualismo e catastrofismo. No que diz respeito à evolução cósmica, pode-se observar uma combinação de dois princípios que provocam discussões intermináveis em geologia e biologia. O assunto dessas discussões é o princípio que prevalece na evolução. Estamos lidando principalmente com mudanças graduais lentas, que eventualmente levam a grandes mudanças (gradualismo)? Ou, o desenvolvimento ocorre principalmente por meio de grandes e revolucionárias descobertas que na biologia geralmente estão conectadas a catástrofes? Dentro da evolução da estrela-galáxia a combinação de ambos os princípios é mais do que apenas evidente. Aqui, como em nenhum outro nível evolutivo, ambos os modos de evolução são organicamente combinados nos destinos individuais das estrelas. A fase de seqüência principal da evolução estelar (quando ocorre a fusão do hidrogênio) demonstra o caráter gradual e a importância de processos lentos e prolongados. No entanto, catástrofes de várias escalas podem ocorrer durante a vida útil de qualquer estrela. Para algumas estrelas, essas mudanças radicais podem se manifestar em grandes - mas ainda locais - mudanças (como soltar as camadas externas), enquanto para outras estrelas essas podem ser tremendas catástrofes quando as estrelas morrem, figurativamente falando, “brilantemente” e “heroicamente”, iluminando o Universo, deixando uma pegada de luz de um bilhão de anos. Os últimos, quais sejam os fenômenos e eventos extraordinários, tanto entre as estrelas quanto entre os humanos, são menos numerosos que os primeiros, que são os comuns.

2. Algumas idéias evolucionárias relacionadas à fase astro-galáctica da evolução do Universo

No processo evolutivo de formação de estrelas, galáxias, nebulosas e nuvens cósmicas, pode-se distinguir uma série de princípios e leis evolutivas importantes que não são evidentes. Sua detecção é importante para entender a unidade dos princípios de desenvolvimento do Universo. Esses princípios e observações estão agrupados abaixo em vários blocos.

2.1. A evolução prossegue com a constante criação e destruição de objetos

A natureza, ao criar, destruir e renovar vários objetos, “testa” muitas versões, algumas das quais se mostram mais eficazes e têm mais chances de sucesso em termos de evolução. Para tal situação de seleção dentro de um processo constante de destruição e criação, parece possível aplicar uma noção bastante apropriada de destruição criativa introduzida por Josef Schumpe-ter (1994).

- **“A evolução é mais forte que os objetos individuais”.** Os processos cósmicos são acompanhados por constante surgimento, desenvolvimento, mudança e morte de vários objetos (estrelas, galáxias, etc.). Assim, aqui pode-se apontar como relevante o princípio expresso por Pierre Teilhard de Chardin (1987) com relação à vida da seguinte maneira: “a vida é mais forte que os organismos”, ou seja, a vida prossegue exatamente porque os organismos são mortais. O mesmo é relevante para a evolução estelar. Podemos dizer aqui que o cosmos é mais forte que estrelas e galáxias; e, em geral, a evolução é mais forte que os objetos individuais.
- **A rotação e a manutenção do equilíbrio** ocorrem devido à destruição constante (ou transição para novas fases no ciclo de vida) de alguns objetos e o surgimento de outros. Isso mantém o equilíbrio e cria condições para o desenvolvimento, porque o desenvolvimento é resultado da mudança de gerações e espécies.
- **Em todo fim, há um começo. A “corrida de revezamento” da evolução das estrelas.** O material dos objetos mortos se torna um componente essencial para a formação de novos objetos. Por um lado, isso representa a circulação de matéria e energia na natureza; por outro, isso representa uma

espécie de “corrida de revezamento”¹⁰. Este fenômeno permite usar os resultados de processos duradouros (em particular, o acúmulo de elementos pesados)¹¹. Assim, lidamos aqui com a “destruição criativa” acima mencionada - a criação de novos objetos devido à destruição dos antigos, o que garante a continuidade e fornece novas formas com espaço para progresso (por exemplo, a mudança de gerações de organismos biológicos sempre resulta em certas transformações). A mudança de governantes pode não levar necessariamente a mudanças sociais radicais; no entanto, cada novo governante é de alguma forma diferente de seu antecessor, como resultado, o acúmulo de experiência histórica ocorre.

• **Novas gerações de organismos e táxons são um modo de desenvolvimento qualitativo.** Pode-se também detectar gerações de táxons, que já possuem diferenças evolutivas e sistêmicas significativas. Assim, gerações de estrelas diferem em termos de tamanho, composição química e outras características. Somente através da mudança de várias gerações de objetos, uma classe de objetos adquire algumas características que são consideradas típicas para toda a classe de objetos (assim como espécies biológicas são definidas quando, na natureza, não é possível acasalamentos entre indivíduos de espécies diferentes produzirem filhotes férteis, por outro lado, muitas espécies se reproduzem assexuadamente).

10 Para mais detalhes sobre a “regra da corrida de revezamento evolucionário”, ver Grinin, Markov e Korotayev 2008; Grinin 2017.

11 Por exemplo, o Sistema Solar emergiu dos restos de uma explosão de supernova. Acredita-se que, devido a esse fato, haja muitos elementos pesados e superpesados na Terra e em outros planetas.

2.2. Individualidade como forma de aumentar a diversidade evolutiva

• **Destinos individuais dentro da evolução.** Parece possível sustentar que, com a formação de estrelas, observa-se o surgimento de objetos individuais na natureza, “indivíduos” que, por um lado, são bastante semelhantes, mas têm destinos individuais bastante diferentes, dependendo das circunstâncias de seu nascimento e de vários fatores e contingências. Por exemplo, estrelas com massa pequena (nas quais a fusão nuclear ocorre lentamente) podem usar todo o seu combustível (isto é, permanecer na sequência principal) por muitos bilhões de anos. Por outro lado, gigantes azuis (nas quais a taxa de consumo de combustível é rápida e que perdem grande parte de sua massa devido à sua instabilidade) queimam centenas de vezes mais rápido.

As estrelas podem terminar suas vidas de uma maneira bastante diferente. Algumas delas, tendo perdido uma ou algumas camadas externas, esfriariam, transformando-se lentamente em corpos frios; outras podem contrair algumas dezenas de vezes, ou podem terminar suas vidas com enormes explosões lançando sua matéria para o espaço aberto. Finalmente, uma estrela pode se tornar um buraco negro que não permite que nenhuma matéria saia de suas profundezas imensamente compactadas.

• **Ontogênese e filogênese.** A evolução prossegue em vários níveis: através do desenvolvimento de um determinado ramo, uma certa classe, espécie e assim por diante (e às vezes até no nível de um organismo individual). Além disso, aplicando terminologia biológica, em todos os níveis da evolução, encontramos uma combinação de processos de *ontogênese* e de *filogênese*. Certamente, dentro da evolução astro-galáctica, a filogênese é representada de

forma muito mais fraca do que na evolução da vida. No entanto, ainda parece possível falar sobre a história de transformação de certos tipos de galáxias e estrelas e, portanto, até certo ponto a filogênese cósmica ocorre (veja acima com relação à mudança de algumas gerações de estrelas e galáxias que diferem entre si em relação ao tamanho, estrutura e composição).

- **As fases do desenvolvimento individual (ontogênese) geram trilhões de destinos diferentes.** Todo tipo de objetos tem suas próprias fases regulares da vida, que dependem das características internas de um objeto e de seu ambiente (proximidade de outros objetos, etc.). Como já apontamos acima, a fase de sequência principal da vida de uma estrela pode ter durações muito diferentes (podendo durar de várias dezenas de milhões de anos a 10-15 bilhões de anos ou ainda mais), dependendo de sua massa, composição e outras características. Como foi mencionado acima, o destino das estrelas no último estágio de sua vida também depende de sua massa e de outras circunstâncias. Dependendo disso, eles podem se transformar em uma anã branca, tornar-se uma estrela de nêutrons ou um buraco negro.

- **Variação necessária e excessiva como condições de uma busca por novas trajetórias evolutivas.** Dentro dos processos descritos acima, podemos observar a formação da diversidade taxonômica dos objetos espaciais e podemos até mesmo falar sobre a ocupação de “nichos” evolutivos. Nesse contexto emergem diferentes tipos de estrelas com diferentes massas, luminosidades (e, conseqüentemente, espectros / cores diferentes da luz), temperaturas, sistemas

(estrelas únicas, sistemas planetários e sistemas de estrelas de duas a sete), período de rotação, campo magnético, etc. . O mesmo se refere às galáxias entre as quais é possível distinguir vários tipos (elípticos, espirais e lenticulares) e subtipos. Essa diversidade é extremamente importante. Somente a conquista de um nível necessário de diversidade taxonômica e outras permite uma busca de caminhos para novos níveis evolutivos. Às vezes, isso é denotado como a regra da diversidade necessária e excessiva (ver Grinin, Markov e Korotayev 2008: 68–72; para mais detalhes, ver também Panov 2008).

- **Norma, médias e desvio da norma.** Somente quando encontramos diversidade suficiente, parece possível falar sobre norma, nível médio, exceções e discrepâncias. Os cientistas sabem há muito tempo que os avanços para novas formas geralmente acontecem na periferia e naqueles sistemas que divergem do mainstream anterior.

- **A continuidade,** que na verdade significa o surgimento de um continuum de formas, tamanhos, expectativa e ciclos de vida, é bastante característica dos objetos espaciais. Assim, as estrelas podem ser apresentadas como um continuum, das mais pesadas para as mais leves (enquanto as últimas se tornam dificilmente distinguíveis dos planetas, porque sua temperatura evita reações termonucleares), etc. Os tipos de sistemas planetários cobrem uniformemente uma ampla gama de parâmetros. Há também uma sequência de fases na transformação das nuvens cósmicas em estrelas: condensação das nuvens - formação de protoestrelas - formação de estrelas jovens e até a morte das estrelas. O continuum de formas e tamanhos de objetos pode ser observado

nas fases geológica, biológica e social da evolução.

2.3. Objeto, meio ambiente, competição, sistemas de desenvolvimento e autopreservação

- **As relações entre estrutura e ambiente.**

Os sistemas multiníveis (galáxia - aglomerado de galáxias - superaglomerado de galáxias) agem como sistemas de uma ordem superior para estrelas e, simultaneamente, criam um ambiente que produz uma enorme influência sobre essas estrelas. Uma estrela interage diretamente com seu ambiente imediato (por exemplo, com estrelas vizinhas por causa da forte gravidade que afeta o movimento de ambas as estrelas), enquanto que com o ambiente distante a interação prossegue em níveis mais altos. Na evolução das estrelas-galáxias, o papel do ambiente é geralmente menos importante do que em outros níveis evolutivos, porque estrelas únicas são separadas por grandes distâncias e é por isso que colidem com pouca frequência. Por outro lado, não se deve subestimar o papel do meio ambiente. Por exemplo, o papel do ambiente imediato é muito importante em sistemas de estrelas duplas, triplas ou múltiplas. No geral, as estrelas únicas são separadas por grandes distâncias e é por isso que colidem com pouca frequência, exceto pelo centro das galáxias, onde a densidade das estrelas é muito maior. Aqui a frequência de colisões é de uma por milhão de anos (Shklovskii 1978: cap. 1). Para uma galáxia pequena, a influência de uma galáxia vizinha maior pode ser fatal, se levar à sua absorção. *Fatores externos* desempenham o papel principal nas *alterações* (por exemplo, um grande corpo cósmico pode passar por nuvens moleculares gigantes onde pode ocorrer uma explosão estelar

etc.) e podem desencadear o processo de formação de estrelas e galáxias (ao iniciar o processo de contração do gás). Colisões de corpos cósmicos podem criar novos corpos cósmicos - por exemplo, há uma hipótese de que a Lua surgiu como resultado da colisão de alguns objetos grandes com a Terra.

Com o desenvolvimento de uma certa forma de evolução, suas próprias leis e ambiente ganham uma influência crescente no desenvolvimento de seus objetos e sujeitos. Por exemplo, tanto a natureza abiótica quanto o ambiente biótico influenciam os organismos biológicos. Entretanto, dentro de um ambiente ecológico complexo, são as competições intraespécies e interespecies que podem ter maior influência do que quaisquer outros fatores naturais, enquanto que em um ambiente social complexo é apenas o ambiente social que afeta mais os indivíduos e os sistemas sociais do que as forças naturais. Assim, com a formação da estrutura astro-galáctica do Universo, surgiram macro-objetos que começaram a interagir com ambientes que são maiores por muitas ordens de magnitude.

- **A formação de forças motrizes evolutivas do desenvolvimento.** O estudo da evolução cósmica mostra que as forças motrizes evolucionárias emergem exatamente nesta fase da evolução (embora elas passem a ter um impacto em pequena escala no “progresso”). Obviamente, as mudanças evolutivas são determinadas pela influência de forças físicas ou químicas, mas as observamos algumas vezes na forma de pré-adaptações. Por exemplo, o surgimento de compostos químicos orgânicos nas nuvens de gás molecular exemplifica essa pré-adaptação. Em princípio, esses tipos de compostos complexos não desempenham um papel significativo na evolução cósmica, mas são um “apoio” ao desenvolvimento. É interessante que apenas uma estrutura peculiar dessas nuvens proteja as moléculas da radiação cósmica, tornando possível a

sua existência. Em outras palavras, as pré-adaptações requerem condições específicas. Na biologia, as pré-adaptações geralmente surgem em um ambiente peculiar. Assim, supõe-se que, na origem dos anfíbios, as barbatanas dos *Crossopterygian* (que já se assemelhavam de várias formas aos membros anfíbios) fossem transformadas em membros primitivos (servindo para sustentar o corpo em solo sólido) em situação de redução das águas rasas.

• **O impulso da autopreservação e as origens da luta por recursos.** Estrelas, galáxias e planetas (assim como outros corpos cósmicos) têm sua forma definida, bastante estruturada e preservada. A “luta” pela preservação dessas formas, a capacidade de viver e brilhar, o uso de diferentes camadas para minimizar as perdas de energia levam a um desenvolvimento evolutivo lento, mas evidente. Dessa forma, a composição atômica do Universo muda, enquanto a diversidade de variações da existência da matéria aumenta. A transição bilateral da matéria para o estado atômico (nos corpos quentes) ou molecular (nas estruturas frias, em particular nas nuvens de gás e nas camadas externas estelares) e vice-versa ao formar estrelas a partir de nuvens gigantes é a manifestação mais brilhante desse tipo de evolução, um pano de fundo que prepara a formação de suas formas bioquímicas e biológicas.

Por um lado, o surgimento de estruturas que buscam sua preservação cria uma ampla gama de interações entre o sistema e seu ambiente; por outro lado, isso cria uma base para a “busca evolutiva” e o avanço evolutivo. Esse paradoxo evolucionário - *a luta pela autopreservação é a fonte mais importante para o desenvolvimento* - pode ser observado aqui em sua forma completa. No entanto, a evolução astro-galáctica

demonstra o surgimento dessa força motriz que se tornará muito importante na evolução biológica; e parece ser a força motriz mais importante na evolução social. Esta é a luta por recursos que, entre estrelas e galáxias, podem prosseguir na forma de enfraquecimento de outro objeto ou sua destruição (por exemplo, através de uma transferência direta de energia e matéria de um corpo para outro), na forma de “incorporação”, “captura”, ou seja, “anexação” de estrelas e aglomerados de estrelas por grupos maiores. Já mencionamos acima coalescências galácticas. Assim, alguns astrônomos afirmam que, ao longo de alguns bilhões de anos, nossa galáxia “conquistou, roubou e submeteu” centenas de pequenas galáxias, pois existem alguns “imigrantes” evidentes em nossa galáxia, incluindo a segunda estrela mais brilhante no céu do norte, Arcturo (Gibson e Ibeta 2007: 30). É amplamente aceito que o surgimento e expansão de um buraco negro pode levar ao ato de “comer” a matéria das estrelas e galáxias próximas. No entanto, a “capacidade de comer” dos buracos negros é muito exagerada na literatura popular. Nos sistemas de estrelas duplas ou nos sistemas de planetas estelares, também é possível observar uma forma de interação como a troca de energia e recursos.

• **Fatores externos como gatilhos de transformações** desempenham um grande papel, por exemplo, quando um grande objeto celeste passa perto de nuvens moleculares gigantes ou uma estrela explode, etc. isso pode iniciar o processo de formação de estrelas e galáxias (ou seja, disparar um processo de concentração de gás). As colisões entre corpos celestes podem formar novos objetos. Assim, supõe-se que a Lua tenha surgido como resultado de uma colisão de um grande objeto com a Terra. A onda de choque de uma supernova próxima pode ter sido um gatilho para o nascimento do Sol cerca de dois milhões de anos antes que seu colapso tivesse começado (ver Adushkin et al. 2008, 276; Bizzarro et al. 2007; Grinin 2017, 2018).

Assim, podemos formular a regra *dos fenômenos ou eventos geradores necessários para iniciar o processo evolutivo*. Muitas vezes, é necessário pressionar um gatilho para disparar uma transição de fase ou a transformação de um objeto. Por um lado, este último não funcionará sem a prontidão interna de um sistema, mas por outro - mesmo um alto nível de prontidão interna não pode iniciar o processo de transformação, como a pólvora não pode explodir sem fogo. Sem um gatilho, o sistema pode permanecer no estado de prontidão potencial para transformações por um longo tempo. Nesse caso, emergem análogos de sistemas típicos / reconhecidos evolucionários.

1.4. Multilinearidade

A multilinearidade é uma das características mais importantes da evolução. Infelizmente, ele não recebe atenção suficiente e há uma tendência de reduzir a evolução para uma única linha - aquela que produziu o mais alto nível de complexidade, que muitas vezes é interpretada como a principal linha de evolução. Contudo, em todos os estágios do desenvolvimento evolucionário, é possível encontrar uma interação de algumas linhas que podem ter futuros bastante diferentes. Em outras palavras, além da principal linha evolutiva, sempre é possível identificar várias linhas laterais. Em primeiro lugar, elas contribuem para a crescente diversidade; em segundo, elas permitem expandir o leque de oportunidades de pesquisa para passar para novos níveis de desenvolvimento; em terceiro, as linhas laterais podem entrar parcialmente na corrente evolutiva principal, enriquecendo-a. Muitas vezes lidamos com duas ou mais linhas de desenvolvimento coexistentes e comparáveis, cuja convergência pode levar a um avanço quantitativo e a um efeito sinérgico. Várias linhas de desenvolvimento podem se transformar umas nas outras. Em outros lugares, escrevemos muito sobre a questão da evolução social nesse contexto (ver, por exemplo, Grinin e Korotayev 2009; Grinin e Korotayev 2011; Bondarenko, Grinin e Korotayev 2011; Grinin 2011).

- **Formas clássicas e seus análogos.** As

linhas principais e laterais da evolução podem ser consideradas em duas dimensões: 1) horizontal (no que diz respeito à complexidade e funções), 2) vertical (referente à versão que seria realizada posteriormente em fases evolutivas mais altas). Parece também possível falar sobre versões clássicas e seus análogos. Assim, várias formas de agregação e especialização de unicelulares podem ser consideradas análogos de multicelulares (ver Eskov 2006), enquanto várias organizações políticas não-estatais complexas podem ser consideradas versões análogas aos estados (ver Grinin e Korotayev 2006; Grinin e Korotayev 2009; Grinin e Korotayev 2009; Grinin 2011 para obter mais informações). Formas clássicas e seus análogos podem se transformar; no entanto, são apenas os análogos que tendem a se transformar em formas clássicas, e não o contrário (o último pode ser visto como uma adaptação forçada a mudanças acentuadas nas condições e, às vezes, até como uma degeneração direta).

- **Estrelas e nuvens moleculares: duas formas paralelas de existência de matéria cósmica.** Nesse sentido, podemos considerar estrelas e galáxias como a principal linha de evolução e as nuvens gigantes como suas linhas laterais; o primeiro pode ser indicado como “formas clássicas” e o segundo pode ser designado como “análogos”. Por um lado, essas formas realmente se transformam umas nas outras. Galáxias e estrelas emergem de nuvens moleculares gigantes, enquanto estrelas surgem através de explosões e podem se transformar em nuvens de poeira de gás ao descartar seu invólucro externo. Por outro lado, nuvens moleculares gigantes são capazes de se concentrar; a troca de energia ocorre dentro delas e, portanto, em termos de gravidade

e complexidade estrutural, são bastante comparáveis às estrelas e galáxias. Elas também excedem as estrelas no nível de organização das partículas elementares, uma vez que as moléculas estão concentradas nas nuvens, enquanto as partículas elementares e os núcleos estão concentrados nas estrelas¹². Além disso, as estrelas quando perdem a matéria e descartam seus invólucros (devido a uma explosão) passam para o estado de poeira de gás interestelar que se acumula em nuvens moleculares.¹³

Conclusão: A formação de várias linhas evolutivas no nível do micro-mundo

Evolução astrofísica e astroquímica. Quase desde o início do desenvolvimento do Universo (quando a temperatura atingiu milhares de Kelvin), a evolução química surge acompanhando uma evolução física e astrofísica. Evidentemente, a evolução química também ocorre dentro das estrelas com o surgimento de elementos mais pesados. No entanto, isso foi antes a formação da base para a evolução química, porque os processos químicos envolvem as reações que levam ao surgimento de novas substâncias. Tais processos prosseguem, antes de tudo, dentro das nuvens de poeira de gás, onde as moléculas emergem. Moléculas de hidrogênio são absolutamente predominantes quantitativamente; apesar disso, moléculas de água e algumas outras substâncias também surgiram. A evolução química continua também nos planetas (onde combina com a evolução geológica, ou melhor, planetária), bem como nos pequenos corpos celestes (asteróides e meteoritos). Ao mesmo tempo, nos planetas onde, devido ao vulcanismo, pressão e outros processos geoló-

gicos, as temperaturas podiam ser altas o suficiente, a atividade química diferiu significativamente da atividade nas nuvens frias.

Evolução química dentro da evolução cósmica. Seguindo Friedrich Engels (e sua “Dialética da Natureza” [Engels 1940]), os representantes do materialismo dialético afirmaram que a forma química de organização da matéria é evolutivamente mais alta que a física. No entanto, em contraste com as formas biológicas e sociais que, desde a sua origem, exibiam níveis de organização substancialmente mais altos, a forma química (que emergiu quase imediatamente após a forma física) não representou uma forma mais alta de evolução por um período bastante longo de tempo. Este não é o caso da evolução geológica (ou melhor, planetológica) que surgiu nos planetas há muito tempo e da evolução avançada (incluindo a química) através da formação de vários minerais e de condições de temperatura mais confortáveis para o desenvolvimento, bem como a formação de atmosferas e até de hidrosfera em alguns lugares (como em Marte). No entanto, o progresso evolutivo adicional se tornou possível apenas como uma preparação para a formação de condições apropriadas para a vida na Terra.

Isso não quer dizer que a evolução química não seja importante no quadro da evolução geral estelar e galáctica; no entanto, antes do surgimento de planetas semelhantes à Terra, as formas físicas e químicas de organização da matéria devem ser consideradas igualmente importantes; note também que eles se transformam constantemente um no outro (ver também Dobrotin 1983: 89)¹⁴. O desenvolvimento da evolução astroquímica não é limitado pela formação de moléculas não-orgânicas simples. Os processos de formação de moléculas prosseguem em direção à formação de substâncias orgânicas. Mais de cem tipos de molécu-

12 As moléculas também podem ser encontradas nas camadas periféricas de algumas estrelas, nas áreas com baixas temperaturas.

13 Em vários níveis de generalização, as nuvens de tamanho comparável com as estrelas são consideradas seus análogos, enquanto as maiores são análogas das galáxias.

14 De qualquer forma, é importante notar que as reações term nucleares fazem com que a evolução química da Galáxia prossiga em uma única direção, a saber, de elementos simples a complexos (Surdin e Lamzin, 1992). Isso também se refere à evolução em geral.

las orgânicas foram detectados no espaço (incluindo de 9 a 13 moléculas atômicas), inclusive o etanol e o aminoácido Glicina (veja Surdin 2001; Surdin e Lamzin 1992; Shklovskii 1978). Naturalmente, isso facilitou o surgimento da vida de uma maneira bastante significativa.

A pré-adaptação também se manifesta nas reações químicas de um tipo peculiar que prosseguem nas nuvens de poeira de gás “não da maneira usual, mas através de uma transição de mecânica quântica de sub-barreiras, que não requer muita energia cinética dos participantes da reação” (Surdin Lamzin 1992). Em outras palavras, a multilinearidade também é expressa no fato de que as reações químicas clássicas (que já poderiam ocorrer em alguns planetas) têm seus análogos. Como resultado, a multilinearidade da evolução torna-se ainda mais real no conjunto de avanços de suas várias linhas (químicas e geológicas), como aconteceu na Terra, o que lhe deu a oportunidade de passar para um novo nível evolutivo.

A formação de “pré-adaptações” como pontos de crescimento evolutivo futuro

Na era astro-galáctica, a forma química de desenvolvimento pode ser considerada uma “pré-adaptação” para novos níveis de evolução. Observemos que, em biologia, o termo “pré-adaptação” denota as adaptações que podem ser úteis em um ambiente diferente e dar vantagens significativas às espécies que as possuem¹⁵ - e geralmente - para impulsionar a formação de novos táxons.

Dentro da estrutura da Macro-História, o princípio de “pré-adaptação” significa que, no nível em que uma pré-adaptação surge, ela geralmente desempenha papel insignificante; no entanto, em um novo nível evolutivo, essas “inovações” geralmente dão impulsos evolutivos. Respectivamente, os compostos químicos (como é comum nas pré-adaptações) não significam muito para a evolução cósmica; eles estavam “reservados” para revelar toda a sua importância no nível da

15 Essa capacidade onívora dos hominídeos permitiu sua transição para a caça em uma fase muito inicial da antropogênese.

evolução planetária.¹⁶

Gostaria de terminar este artigo com uma nota sobre mais uma peculiaridade das pré-adaptações. Condições adequadas são necessárias para a sua formação. Na evolução biológica, as pré-adaptações geralmente surgem em ambientes peculiares. Assim, supõe-se que a transformação das barbatanas dos peixes de barbatana carnuda (da qual os anfíbios descendem) em pernas primitivas ocorra no ambiente de águas rasas que frequentemente secam. De maneira semelhante, na evolução das estrelas-galáxias o surgimento de compostos químicos complexos pode ocorrer apenas dentro de certas estruturas de nuvens cósmicas que tornaram possível a sua existência, pois protegeram as moléculas da radiação cósmica.

Conclusão:

Assim, é importante resumir nossa abordagem que, em nossa opinião, é frutífera no campo da Macro-História, como em qualquer outra pesquisa sobre análogos evolutivos entre cosmologia, sociedade e mundo biológico.

Podemos ver diferentes mecanismos, tais como: catástrofes, autopreservação, interação com o meio ambiente, luta por recursos, formação de objetos individuais, formação das linhas principais e laterais, diversidade, seleção etc., que demonstram a semelhança das regras evolutivas e padrões em diferentes fases da Macro-História e em diferentes níveis de evolução. Infelizmente, não podemos prestar atenção suficiente a cada mecanismo e regra, porque para uma explicação detalhada seria necessário escrever um artigo especial.

Vale ressaltar que alguns autores consideram a seleção natural o principal e, às vezes, o único mecanismo evolutivo, que funciona não apenas no estágio biológico da Macro-História, mas também no estágio cosmológico. Sem dúvida, a seleção é importante e, juntamente com outros mecanismos evolutivos, pode fornecer insights da formação da estrutura do Universo. No entanto, como o leitor pode entender, consideramos o mecanismo de seleção apenas como um dos mais importantes para a cosmologia, mas de maneira

16 Sobre pré-adaptações na megaevolução, ver também Grinin, Korotayev e Markov 2011: 159-160.

alguma o principal e, sobretudo, não o único.

No entanto, não se pode deixar de dar crédito a muitas hipóteses cosmológicas interessantes. Por exemplo, David Baker explora o mecanismo de seleção entre um enorme número de universos no “multiverso”. No entanto, seu algoritmo com relação à seleção de universos dificilmente poderia ser chamado propriamente de darwiniano. Ele prefere falar sobre a seleção evolucionária em geral - que não é a seleção dos mais aptos, mas a seleção daqueles capazes de evoluir - que é um conceito muito mais amplo que a seleção darwiniana. A ideia de que essa seleção não é darwiniana é confirmada se empregarmos as obras de Christian (2014) e Smolin (2008)¹⁷.

Em conclusão, queremos repetir os objetivos do artigo. Primeiro, usamos uma narrativa histórica mostrando a origem e o desenvolvimento de modelos evolutivos gerais e, em seguida, explicando-os para dar uma ideia da formação da estrutura em larga escala do Universo.

Em segundo lugar, o objetivo era encontrar semelhanças evolutivas em diferentes níveis e usá-las para a análise da semelhança de regras e padrões evolutivos em diferentes sistemas.

Não tentamos apenas aplicar os princípios evolutivos já formulados de diferentes sistemas biológicos ou sociais complexos às questões cosmológicas. Este método pode estar errado, pois muitos desses princípios serão inadequados na cosmologia.

Em terceiro lugar, mas brevemente, algumas questões foram discutidas sobre análogos de funcionamento e desenvolvimento entre vários objetos e sistemas.

17 Smolin frequentemente se refere ao princípio antrópico como uma ideia evolutiva muito importante, que não abordamos no artigo.

