

Alexander Friedmann e o universo em expansão

V. M. Mostepanenko

Observatório Astronômico em Pulkovo – Academia de Ciências da Rússia
Universidade Politécnica de São Petersburgo "Pedro, o Grande"
Universidade Federal de Kazan

Resumo

Nesta nota, apresentamos brevemente os principais fatos da biografia de Alexander Friedmann, o matemático e físico russo que previu a expansão do Universo há cem anos. O papel desta previsão para a ciência moderna e para nossa imagem do mundo é discutido com uma ênfase na mudança radical em nossos conceitos básicos introduzidos pela previsão de Friedmann e sua confirmação experimental.

Abstract

In this note, we briefly present the main facts from the biography of Alexander Friedmann, the Russian mathematician and physicist who predicted the expansion of the Universe one hundred years ago. The role of this prediction for modern science and for our picture of the World is discussed with a stress on the radical change in our basic concepts introduced by Friedmann's prediction and its experimental confirmation.

Palavras-chave: Alexander Friedmann, história da física, cosmologia, universo em expansão

Keywords: Alexander Friedmann, history of physics, cosmology, expanding universe

DOI: [10.47456/Cad.Astro.v3n1.37440](https://doi.org/10.47456/Cad.Astro.v3n1.37440)

O mistério do céu noturno coberto por estrelas sempre atraiu a atenção dos povos. Este mistério foi uma das principais fontes para mitos, diferentes religiões e conceitos filosóficos, e no período antigo da história da humanidade pavimentou a explicação científica do universo.

A primeira visão científica do universo foi formulada por Ptolomeu no primeiro século da nossa era. De acordo com Ptolomeu, a Terra localiza-se no centro do mundo orbitada pelos cinco planetas conhecidos na época, além da Lua e o Sol. O sistema geocêntrico de Ptolomeu prevaleceu até o século XVI quando foi substituído pelo sistema heliocêntrico de Copérnico, Kepler e Galileu onde os cinco planetas orbitam o Sol enquanto a Lua orbita a Terra. Tanto a visão de universo de Ptolomeu quanto de Copérnico admitiam que além de Saturno havia o firmamento com as estrelas fixas e estas não obedeciam as mesmas leis físicas que os corpos na Terra.

Na visão de universo de Newton, o firmamento foi substituído por um espaço infinitamente grande, homogêneo e isotrópico. De acordo com Newton, o universo existia para sempre e contendo um número infinito de estrelas. O mo-

delo cosmológico criado por Einstein no arcabouço da sua teoria da relatividade geral com a inclusão da constante cosmológica fez algumas correções na visão de universo de Newton. De acordo com Einstein, o universo tem um volume espacial finito. Ele nunca foi criado, nunca morrerá e contém um número finito de estrelas.

Todas as visões de universo anteriores de Ptolomeu, Copérnico, Newton e Einstein são estáticas, ou seja, independentes do tempo. Apenas Alexander Friedmann, em 1922, fez uma mudança conceitual importante em nossa visão de mundo ao predizer que o universo poderia estar se expandindo.

Alexander Friedmann nasceu em São Petersburgo, Rússia, em 16 de Junho de 1888, em uma família de artistas [1,2]. Seu pai, de mesmo nome Alexander Friedmann, foi um compositor e artista do Balé do Teatro Imperial. Sua mãe, Lyudmila Voyachek, formou-se pianista pelo Conservatório de São Petersburgo. Assim, nada indicava que seu filho estudaria matemática e física e se tornaria um grande cientista. Em 1897, os pais de Alexander Friedmann se separaram e ele permaneceu com seu pai nos anos que se seguiram.

Neste mesmo ano, ele ingressou na "Segunda Escola de São Petersburgo" que era uma das mais antigas instituições de ensino da Rússia, contando com bons professores de matemática e física.

Ainda enquanto aluno, em colaboração com seu colega de classe Yakov Tamarkin que posteriormente tornou-se um matemático famoso, Alexander Friedmann escreveu seu primeiro artigo dedicado aos números de Bernoulli o qual foi publicado em 1906 na revista *Mathematische Annalen* sob a recomendação de David Hilbert.

Depois de sua graduação na "Segunda Escola" em 1906, com medalha de ouro, Alexander Friedmann foi aceito no curso do Departamento de Matemática na Faculdade de Física e Matemática da Universidade de São Petersburgo. Durante os seus anos universitários, Alexander Friedmann recebeu uma educação fundamental em diferentes áreas tanto da matemática quanto da física, com brilhante desempenho. Seus resultados nos cursos sempre foram marcados pela avaliação "excelente".

Em 1910, Alexander Friedmann graduou-se pelo Departamento de Matemática e permaneceu nessa instituição para uma vaga de pesquisa na pós-graduação e preparação para assumir o cargo de professor pelo mesmo departamento, sempre sob a supervisão do famoso matemático Vladimir Steklov. Durante os anos 1910-1913, Alexander Friedmann pesquisou vários problemas de física e matemática, publicou vários artigos e ministrou cursos para estudantes. Ele foi aprovado com sucesso nos exames para grau de mestrado mas formalmente defendeu sua dissertação apenas em 1922 quando já era professor, inicialmente na Universidade de Perm (1918-1920) e posteriormente, de 1920 a 1925, no Instituto Politécnico de Petrogrado e no Instituto de Engenharia Férrea, ambos da Universidade de Petrogrado (também conhecida com Universidade de São Petersburgo).

A partir de 1913 Alexander Friedmann iniciou seu trabalho no Observatório de Física de São Petersburgo (posteriormente renomeado de Geofísico). Este trabalho revelou seu interesse por meteorologia, dinâmica, hidrodinâmica e aerodinâmica temas nos quais obteve uma série de resultados fundamentais que são muito difundidos até hoje entre os especialistas da área. Uma parte desses resultados foram obtidos durante sua estada na Universidade de Leipzig, Alemanha, na primeira metade de 1914.

Depois do início da Primeira Guerra Mundial em agosto de 1914, Alexander Friedmann se voluntariou para a aeronáutica do império russo. Seus serviços no exército duraram por três anos. Durante este período de sua vida, Alexander Friedmann organizou o serviço aerológico, criou a teoria de bombardeio e mostrou, em diversas situações, exemplos de bravura e heroísmo, como ao pessoalmente pilotar aeronaves e bombardear com sucesso as posições alemãs em Przemysl. As façanhas de Alexander Friedmann durante a guerra foram premiadas com várias condecorações militares de alto nível, como por exemplo pela condecoração "Georgii Cross", uma das mais importantes condecorações militares do então império russo.

Os últimos anos da vida de Alexander Friedmann, a partir de 1920 até 16 de Setembro de 1925, quando ele morreu de forma trágica decorrente de tifo aos 37 anos de idade, foram extremamente produtivos. Durante estes anos, ele obteve vários resultados científicos extraordinários na área de meteorologia dinâmica (em 1925 ele tornou-se diretor do observatório geofísico da academia russa de ciência), e também escreveu dois artigos [3, 4] sobre a teoria da relatividade geral que tornou o seu nome imortal.¹

No primeiro destes artigos [3], Alexander Friedmann resolveu as equações de Einstein da teoria da relatividade geral para o caso de um espaço homogêneo e isotrópico com curvatura positiva. Diferentemente de Einstein, Alexander Friedmann não fez nenhuma hipótese adicional e, em particular, não impôs a princípio que o universo fosse estático. Ele se comportou como um matemático, procurando verificar quais informações estão contidas nas equações fundamentais da teoria da relatividade geral independente de nossas preferências. Einstein, havia incluído especificamente o termo cosmológico nas suas equações com a finalidade de obter um universo estático. Mas, de acordo com o resultado de Alexander Friedmann, mesmo na presença de uma constante cosmológica, as equações de Einstein apresentam soluções não-estáticas, enquanto as soluções estáticas obtidas por Einstein são apenas um caso muito particular. Em 1924, Alexander Friedmann publicou um resultado similar para o caso de um

¹Nota do editor: o primeiro destes artigos, escrito em 1922, encontra-se traduzido na presente edição dos Cadernos de Astronomia.

espaço homogêneo e isotrópico com curvatura negativa [4].

Acima de tudo, Alexander Friedmann provou que, ao contrário das afirmações anteriores de Einstein, existem soluções cosmológicas das equações da teoria da relatividade geral sem o termo cosmológico e todas elas descrevem universos não-estáticos que se expandem ou se contraem com o tempo. No início, Einstein não concordou com estes resultados e publicou uma nota [5] afirmando que as soluções encontrados por Friedmann não satisfaziam as equações de campo. No entanto, depois das explicações por escrito de Alexander Friedmann, encaminhadas a ele pessoalmente pelo prof. Yu. A. Krutkov, Einstein publicou uma outra nota [6] onde reconheceu que suas críticas “eram baseadas em um erro nos cálculos”.

Assim, de acordo com a previsão de Alexander Friedmann, nosso universo não pode ser estático mas deve estar em expansão. Esta previsão foi confirmada experimentalmente, primeiramente em 1927 por Georges Lemaître [7] e depois, em 1929, por Edwin Hubble [8], ambos utilizando o desvio para o vermelho no espectro de galáxias distantes. Mais recentemente, esses resultados foram confirmados por Penzias e Wilson [9] que descobriram, em 1964, a radiação cósmica de fundo em micro-ondas, e por todos os desenvolvimentos subsequentes da astrofísica relativística e cosmologia.

De volta ao início desta breve nota, podemos concluir que a predição da expansão do universo por Alexander Friedmann mudou completamente nossa visão de mundo em comparação com a que prevaleceu em todas as épocas anteriores. Lembrando que o universo como um todo é o objeto mais impressionante, misterioso e grandioso da natureza, e que causa um imenso impacto tanto na vida humana quanto na filosofia humana, esta descoberta coloca Alexander Friedmann em par com os maiores cientistas da história da humanidade.

Agradecimentos

Este trabalho foi apoiado pela Universidade Politécnica de São Petersburgo "Pedro o Grande" no âmbito do projeto do estado russo para pesquisa básica (projeto nº FSEG-2020-0024) e pelo Programa de Liderança Acadêmica Estratégica da Universidade Federal de Kazan.

Nota dos editores: O texto em português é uma tradução, realizada por Felipe Tovar Falciano, do texto original em inglês escrito especialmente para os Cadernos de Astronomia.

Sobre o autor

Vladimir M. Mostepanenko (vmos-tepa@gmail.com) é professor na Universidade Politécnica de São Petersburgo "Pedro o Grande", Rússia, e é especialista em gravitação, teoria quântica de campos e cosmologia. Publicou quase 200 artigos científicos e é também autor de livros científicos. Tem dado importante contribuições em problemas relacionados a efeitos quânticos em gravitação e para os estudos do efeito Casimir. É um dos criadores e coordenadores dos *Friedmann's seminars*, evento científico internacional que ocorre bi-anualmente desde 1989.

Referências

- [1] V. Frenkel, *Aleksandr Aleksandrovich Fridman (Friedmann): a biographical essay*, *Sov. Phys. Usp* **31**(7), 645 (1988).
- [2] E. A. Tropp, V. Y. Frenkel e A. D. Chernin, *Alexander A. Friedmann: The man who made the universe expand* (Cambridge University Press, Nova York, 1993).
- [3] A. Friedmann, *Über die krümmung des raumes*, *Z. Physik* **10**, 377 (1922).
- [4] A. A. Friedmann, *Über die möglichkeit einer welt mit konstanter negativer krümmung des raumes*, *Z. Physik* **21**, 326 (1924).
- [5] A. Einstein, *Bemerkung zu der arbeit von A. Friedmann "Über die krümmung des raumes"*, *Z. Physik* **11**, 326 (1922).
- [6] A. Einstein, *Notiz zu der bemerkung zu der arbeit von A. Friedmann "Über die krümmung des raumes"*, *Z. Physik* **18**, 228 (1923).
- [7] G. Lemaître, *Un Univers homogène de masse constante et de rayon croissant rendant compte de la vitesse radiale des nébuleuses extra-galactiques*, *Annales de la Société Scientifique de Bruxelles* **47**, 49 (1927).

- [8] E. Hubble, *A relation between distance and radial velocity among extra-galactic nebulae*, *Proceedings of the National Academy of Sciences* **15**(3), 168 (1929).
- [9] A. A. Penzias e R. W. Wilson, *A Measurement of Excess Antenna Temperature at 4080 Mc/s.*, *Astrophysical Journal* **142**, 419 (1965).