

The full version of the article is available on the website of the journal "Astrophysics":
<https://link.springer.com/journal/10511>

NONLINEAR RADIATIVE TRANSFER IN RESONANCE LINES WITH NONCOHERENT SCATTERING

A.Kh.KHACHATRYAN

Received 10 November 2025

This paper addresses to the solving of the nonlinear radiative transfer equation in resonance lines under partial frequency redistribution. The existence of a constructive solution to the two-dimensional integral equation is proven for the general case of nonlinearity with non-coherent scattering. Special attention is focused to different kinds of nonlinear dependencies of the source function on the mean intensity. Along with nonlinearity, we also separately consider the cases of coherent, complete, and general frequency redistribution. Based on the theoretical results, numerical simulations are implemented to demonstrate the qualitative and quantitative differences between the linear and nonlinear solutions. Numerical calculations are carried out for the different spectral lines arising in masers, as well as in solar and stellar chromospheres.

Keywords: *transfer equation: nonlinearity: noncoherent scattering: iteration: convergence: resonance lines*

Armenian National Agrarian University,
Head of department of higher mathematics, physics and applied mechanics,
Yerevan 0009, Republic of Armenia, e-mail: aghavard1959@gmail.com

НЕЛИНЕЙНЫЙ ПЕРЕНОС ИЗЛУЧЕНИЯ В РЕЗОНАНСНЫХ ЛИНИЯХ С НЕКОГЕРЕНТНЫМ РАССЕЯНИЕМ

А.Х.ХАЧАТРЯН

В данной статье рассматривается решение уравнения нелинейного переноса излучения в резонансных линиях при частичном перераспределении частоты. Существование конструктивного решения двумерного интегрального уравнения доказано для общего случая нелинейности с некогерентным рассеянием. Особое внимание уделено различным видам нелинейных зависимостей функции источника от средней интенсивности. Помимо нелинейности, отдельно рассмотрены также случаи когерентного, полного и общего частотного перераспределения. На основе теоретических результатов проведены численные симуляции для демонстрации качественных и количественных различий между линейными и нелинейными решениями. Численные расчеты выполнены для различных спектральных линий, возникающих в мазерах, а также для солнечных и звездных хромосфер.

Ключевые слова: *уравнение переноса; нелинейность; некогерентное рассеяние; итерация; сходимость; резонансные линии*

REFERENCES

1. *M.Elitzur*, Astronomical Masers. Springer Dordrecht, <https://doi.org/10.1007/978-94-011-2394-5>, 1992.
2. *D.E.Osterbrock, G.J.Ferland*, Astrophysics of Gaseous Nebulae and Active Galactic Nuclei. (2nd ed.), University Science Books, 2006.
3. *P.Goldreich, J.Kwan*, Astrophys. J., **190**, 27, 1974.
4. *G.B.Rybicki, A.P.Lightman*, Radiative Processes in Astrophysics, Wiley-VCH, 1979.
5. *J.Sagle, R.K.Namiotka*, Huennekens J. Measurement and modelling of intensity dependent absorption and transit relaxation on the cesium D1 line. J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys., v.29, pp. 2629-2643, 1996. (Printed in the UK). <https://doi.org/10.1088/0953-4075/29/12/023>
6. *A.Kh.Khachatryan, Kh.A.Khachatryan*, "On the Solvability of Some Nonlinear Integral Equations in Problems of Epidemic Spread", Proc. Steklov Inst. Math., 306, 2019, 271, <https://doi.org/10.1134/S0081543819050225>.
7. *I.Hubeny*, Astron. Astrophys., **185**, 336, 1987.
8. *E.Hopf*, Mathematical problems of radiative Equilibrium. Cambridge University Press, 193416.
9. *I.Hubeny, D.Mihalas*, Theory of Stellar Atmospheres. An Introduction to Astrophysical Non-Equilibrium Quantitative Spectroscopic Analysis, Quantitative Spectroscopic Analysis, Princeton University Press 2015.
10. *D.Mihalas*, Stellar Atmospheres. 2nd ed., Freeman and Co., San Francisco 1978.
11. *V.A.Ambartsumyan*, On some nonlinear problems of the theory of radiation transfer. Theory of stellar spectra, 1966, [in Russian].
12. *N.B.Engibaryan*, Astrophysics, **26**, 31, 1966.
13. *N.B.Engibaryan, A.Kh.Khachatryan*, Astrophysics, **23**, 458, 1985. <https://doi.org/10.1007/BF01011124>.
14. *D.G.Hummer*, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., **125**, 21, 1962. <https://doi.org/10.1093/mnras/125.1.21>.
15. *J.N.Heasley, F.Kneer*, Astrophys. J., **203**, 660, 1976.
16. *A.Kh.Khachatrian, A.A.Akopian, E.A.Melkonian*, A matrix solution method for noncoherent scattering problems. J.Q.S.R.T. v.45, No.6, pp.367–376. [https://doi.org/10.1016/0022-4073\(91\)90073-Y](https://doi.org/10.1016/0022-4073(91)90073-Y).
17. *W.Rudin*, Functional Analysis. McGraw-Hill International Editions, Singapore 1991.
18. *A.N.Kolmogorov, S.V.Fomin*, Introductory real analysis, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ 1970.