согласно [8], а направление плоскости преимущественных колебаний электрического вектора поляризации ($\overline{\Theta} = 95°$) совпадает с направлением преимущественных колебаний электрического вектора плоскости поляризации кометарной туманности № 6. Кроме того, степень поляризации этого объекта почти не зависит от длины волны, как это имеет место для кометарной туманности M2-9 и LkH_{α} 233. Отсюда можно сделать вывод, что наблюдаемая поляризация света объекта № 6 обусловлена межзвездной средой. Что касается остальных кометарных туманностей (см. табл. 1), то для них заметная поляризация не обнаружена, вследствие чего трудно отдать предпочтение собственному или межзвездному происхождению поляризации.

В заключение выражаю благодарность Г. В. Абрамяну за оказанную им помощь во время наблюдений.

The Results of Electropolarimetric Observations of Cometary Nebulae. The results of electropolarimetric observations of nine Cometary Nebulae on the 2.6 m telescope of the Byurakan observatory are given. The Cometary Nebula LkH_{α} 233 has shown a high intrinsic light polarization.

10 декабря 1979 Р. А. ВАРДАНЯН

Бюраканская астрофизическая обсерватория

ЛИТЕРАТУРА

1. *В. А. Амбарцумян*, Сообщ. Бюраканской обс., 13, 1954.
2. *Э. Е. Хачикян*, Сообщ. Бюраканской обс., 25, 67, 1958.
3. *Э. С. Парсамян*. Сообщ. Бюраканской обс., 32, 1963.
4. *N. Calvet, M. Cohen*, M. N., 182, 687, 1978.
5. *Р. А. Варданян*, Сообщ. Бюраканской обс., 35, 2, 1964.
6. *Э. С. Парсамян, В. М. Петросян*, Сообщ. Бюраканской обс., 51, 1979.
7. *F. S. Vrba, G. D. Schmingm, P. M. Hintzen*, Ap. J., 227, 185, 1979.
8. *J. S. Hall*, Publ. Naval Obs., 17, Part 6, 1958.

УДК 523.035

О НЕЛИНЕЙНОЙ ПРОБЛЕМЕ МИЛНА

Проблема Милна в теории переноса излучения заключается в нахождении положительных решений задачи переноса в полупространстве при отсутствии источников в конечной части пространства [1]. Решение классической проблемы Милна обладает тем свойством, что плотность излучения неограниченно возрастает с глубиной. Поэтому в случае задач переноса в спектральных линиях естественным образом возникает вопрос об учете нелинейных эффектов [2—4].

Настоящая заметка представляет собой первую попытку рассмотрения проблемы Милна в нелинейной постановке. Применяется метод автора решения нелинейных задач переноса [2] (см. также [4], § 2.5), примыкающий к методу самосогласованных оптических глубин Амбарцумяна [3].

Рассмотрим задачу изотропного когерентного рассеяния резонансного излучения в полупространстве, равномерно заполненном атомами с двумя дискретными энергетическими уровнями 1 и 2, и свободными электронами. Пусть n и n_e — число атомов и свободных электронов в 1 см^3. Уравнение переноса имеет вид

$$\eta \frac{dI(z, \eta)}{dz} = -k\left(n_1 - \frac{g_1}{g_2} n_2\right) I + \frac{A_{21}}{2} n_2. \tag{1}$$

Здесь $I(z, \eta)$ — интенсивность излучения на геометрической глубине z, рассчитанной от плоской границы среды; η — косинус угла, составленного с внутренней нормалью границы среды; k — коэффициент поглощения, рассчитанный на один атом; $n_1 = n_1(z)$ и $n_2 = n_2(z)$ суть числа атомов в 1 см^3, находящихся в основном и возбужденном состояниях; g_1 и g_2 — статистические веса этих состояний; A_{21} — эйнштейновский коэффициент спонтанного перехода; a_{21} — коэффициент перехода $2 \to 1$ вследствие электронных ударов второго рода.

Условия стационарности и граничные условия суть

$$\begin{gathered} -k\left(n_1 - \frac{g_1}{g_2} n_2\right) S + (A_{21} + a_{21}) n_2 = 0, \\ n_1 + n_2 = n = \text{const}, \qquad S(z) = \int_{-1}^{1} I(z, \eta)\, d\eta. \end{gathered} \tag{2}$$

$$I(0, \eta) = 0, \quad \eta > 0. \tag{3}$$

Поставим задачу об определении положительного решения задачи (1)—(3) такого, что

$$\int_0^\infty \left| n_1(z) - \frac{g_1}{g_2} n_2(z) \right| dz = +\infty. \tag{4}$$

Введем реальную оптическую глубину τ (см. [2, 3])

$$\tau = k\int_0^z \left[n_1(t) - \frac{g_1}{g_2} n_2(t) \right] dt. \tag{5}$$

С учетом (2) получаем

$$z = \frac{\tau}{kn} + c\int_0^\tau B(t)\,dA, \qquad c = \frac{g_1 + g_2}{(A_{21} + a_{21})\,ng_2}. \tag{6}$$

Функция $B(\tau) = S(z)$ удовлетворяет следующему уравнению (см. [2]), хорошо известному в линейной теории переноса:

$$B(\tau) = \frac{\lambda}{2}\int_0^\infty E_1(|\tau - t|)\,B(t)\,dt, \qquad \lambda = \frac{A_{21}}{A_{21} + a_{21}}. \tag{7}$$

Уравнение (7) обладает положительным решением

$$B(\tau) = e^{p\tau}\left[1 + \int_0^\tau \Phi(t)\,e^{-pt}\,dt\right], \tag{8}$$

где $p = p(\lambda)$ — решение характеристического уравнения

$$\frac{\lambda}{2p}\ln\frac{1+p}{1-p} = 1.$$

$\Phi = \Phi_\lambda$ определяется из уравнения восстановления

$$\Phi(\tau) = L(\tau) + \int_0^\tau L(\tau - t)\,\Phi(t)\,dt, \tag{9}$$

где $L(\tau) = \int_0^1 e^{-\tau/\eta}\varphi(\eta)\,d\eta$, а φ — функция Амбарцумяна.

Если $\lambda < 1$, то

$$\int_0^\infty \Phi(\tau)\,d\tau = (1 - \lambda)^{-1/2}.$$

Если же $\lambda = 1$, то

$$\int_0^{\tau} \Phi(t)\,dt \sim \sqrt{3}\,\tau \quad \text{при } \tau \to +\infty. \tag{10}$$

Из (6) и (10) имеем

$$z = \frac{\tau}{kn} + \frac{c}{p} B(\tau) - \frac{1}{p}\left| 1 + \int_0^{\tau} \Phi(u)\,du \right| \quad \text{при } \lambda < 1,$$

$$z \sim \frac{\sqrt{3}}{2}\tau^2 \quad \text{при } \tau \to \infty, \quad \lambda = 1, \tag{11}$$

поэтому при $z \to \infty$ справедлива асимптотика

$$S(z) \sim \frac{p}{c} z \quad \text{при } \lambda < 1 \text{ и } S(z) \sim \sqrt{2\sqrt{3}}\sqrt{z} \quad \text{при } \lambda = 1. \tag{12}$$

Формула (12) указывает на то, что учет нелинейных эффектов качественным образом изменяет асимптотику решения проблемы Милна как в неконсервативном, так и в консервативном случаях.

Случай рассеяния в спектральной линии с учетом перераспределения излучения по частотам будет рассмотрен отдельно.

On nonlinear Miln's problem. The nonlinear Miln's problem in semiinfinite atmosphere consisting of two-level atoms is considered. It is shown that there is a qualitative difference between asymptotics of solutions of linear and nonlinear Miln's problems.

9 апреля 1979

Н. Б. ЕНГИБАРЯН

Ереванский государственный университет

ЛИТЕРАТУРА

1. *В. В. Соболев*, Рассеяние света в атмосферах планет, Наука, М., 1972.
2. *Н. Б. Енгибарян*, Астрофизика, 1, 3, 1965; 2, 1, 1966.
3. *В. А. Амбарцумян*, в сб. «Теория звездных спектров», Наука, М., 1966.
4. *В. В. Иванов*, Перенос излучения и спектры небесных тел, Наука, М., 1969.