



Doctoral Thesis

## Some aspects of the computational dynamics of colliding flows in astrophysical nebulae

**Author(s):**

Walder, Rolf

**Publication Date:**

1993

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000938198> →

**Rights / License:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

1 8. April 1994

# Some Aspects of the Computational Dynamics of Colliding Flows in Astrophysical Nebulae

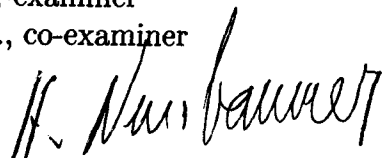
A dissertation submitted to the  
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
ZURICH

for the degree of  
Doktor der Naturwissenschaften

presented by  
ROLF WALDER  
Diplomierter Physiker, Universität Zürich,  
born January 1, 1953,  
citizen of Switzerland

accepted on the recommendation of  
Prof. Dr. Harry Nussbaumer, examiner  
Prof. Randall J. LeVeque, Ph. D., co-examiner

1993



Prof. Dr. H. Nussbaumer

# Abstract

Within this thesis some aspects of the physics and the numerical simulation of colliding flows in astrophysical nebulae are discussed. Special emphasis is put on the application of the general results to colliding winds in symbiotic double star systems. Another important point is the numerical-mathematical aspect of the computational physics.

In the first part, the physics and some general features of the flow patterns of colliding winds in one up to three space dimensions are numerically investigated. Radiative cooling and heating is taken into account in a self-consistent but parametrized form. In astrophysical nebulae, radiative processes substantially determine the flow characteristics. Cooling layers behind shocks have a complex structure. Radiative effects also lead to instabilities which strongly affect the pattern. Boundary layers as shocks, cooling layers, and slip planes play an important role in the development of the instabilities. To obtain correct results, care should be taken in the numerical treatment of such layers. It is showed that the physical model should be improved by taking into account heat conduction by free electrons and by considering different temperatures for electrons and ions.

In the second part, the impact of colliding stellar winds on the nebular environment of symbiotic double star systems is discussed. It is shown that colliding winds are the force forming in the symbiotic nebulae the complex density-, velocity- and temperature-structure indicated by the observed spectra. Many features of the complex emission-line spectra can be explained by the presence of colliding winds. Further, it is shown that a substantial variation of the emitted spectra results from only small changes of the nebular structure. The first three-dimensional calculation in colliding winds is presented with a simulation of the symbiotic systems EG And.

In the third part, the applied numerical methods are presented. Finite volume methods based on Cartesian grids and combined with an adaptive mesh refinement algorithm are a promising approach for astrophysical computations. But even 'state of the art'-methods can lead to severe deviation of the numerical solution from the correct physical one. Some of these failures are analyzed,

and it is shown that the methods used sometimes can hardly capture complex multidimensional flow features. Rotated difference methods as an attempt to overcome the failures are discussed.

# Kurzzusammenfassung

In dieser Dissertation werden einige Aspekte der Physik und der numerischen Simulation kollidierender Strömungen in astrophysikalischen Nebeln diskutiert. In einem zweiten Teil werden die generellen Resultate auf kollidierende Sternwinde in symbiotischen Doppelsternsystemen angewandt. Ein wichtiger Aspekt dieser Dissertation ist die korrekte numerisch-mathematische Behandlung der physikalischen Prozesse.

Im ersten Teil werden mit Hilfe numerischer Simulationen die Physik und allgemeine Charakteristiken von kollidierenden Winden untersucht. Heizung und Kühlung des Gases durch Strahlung werden selbstkonsistent in parametrisierter Form berücksichtigt. Es zeigt sich, dass in astrophysikalischen Nebeln Strahlungsprozesse den Charakter der Strömung entscheidend beeinflussen. Die Strahlungskühlung führt zu komplexen Strömungsbildern von geschocktem Gas. Strahlungseffekte sind auch wesentlich bei der Entwicklung von Instabilitäten in der Strömung. Die korrekte numerische Behandlung von Grenzschichten wie Schocks, Kühlungszone und Kontaktunstetigkeiten ist für ein korrektes physikalisches Resultat entscheidend. Zum Schluss dieses Teiles wird gezeigt, dass das physikalische Modell der Sternwinde durch den Einbezug von Wärmetransport durch freie Elektronen sowie der Berücksichtigung von verschiedenen Temperaturen für Elektronen und Ionen wesentlich verbessert werden könnte.

Im zweiten Teil wird der Einfluss von kollidierenden Sternwinden auf den dichten Nebel symbiotischer Systeme diskutiert. Es wird gezeigt, wie kollidierende Winde dem Nebel eine komplizierte Dichte-, Geschwindigkeits- und Temperaturstruktur geben, wie sie auch die Analyse beobachteter Spektren vermuten lässt. Viele Besonderheiten des komplexen Emissionslinienspektrums symbiotischer Sterne können mit kollidierenden Sternwinden erklärt werden. Es wird weiter gezeigt, wie schon kleine Änderungen in der Nebelstruktur wesentliche Veränderungen im emittierten Linienspektrum hervorrufen. Die numerische Simulation des symbiotischen Systems EG Andromedae — deren Resultate zum Abschluss dieses Teils gezeigt werden — ist die erste dreidimensionale Rechnung kollidierender Sternwinde überhaupt.

Im dritten Teil werden die angewandten numerischen Methoden diskutiert. Die erhaltenen Resultate haben gezeigt, dass sich finite Volumenmethoden auf kartesischen Gittern, zusammen mit einer adaptiven Gitterverfeinerung, gut zur Berechnung astrophysikalischer Strömungen eignen. Aber selbst moderne Methoden, die dem heutigen Stand der Wissenschaft entsprechen, können numerische Lösungen liefern, die wesentlich von der korrekten physikalischen Lösung abweichen. Die Ursache einiger dieser Fehler wird diskutiert. Rotierte Differenzenmethoden werden vorgestellt als ein Versuch diese Mängel zu überwinden.