



ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Comptes Rendus Mecanique

www.sciencedirect.com



A century of fluid mechanics: 1870–1970 / Un siècle de mécanique des fluides : 1870–1970

Boundary layer separation and asymptotics from 1904 to 1969



À propos de la séparation de la couche limite et de l'analyse asymptotique de 1904 à 1969

Pierre-Yves Lagrée

Sorbonne Universités, UPMC Université Paris-6, CNRS, UMR 7190, Institut Jean-Le-Rond-d'Alembert, 75005 Paris, France

ARTICLE INFO

Article history:

Received 28 November 2016

Accepted 12 March 2017

Available online 23 June 2017

Keywords:

Boundary layer

Mots-clés:

Couche limite

ABSTRACT

The aim of this Note is to follow the spreading of the idea of asymptotic analysis in fluid mechanics (more precisely the laminar boundary layer). We will focus on the actors who worked on the problem of boundary layer separation from 1904 to 1969. This correspond to the invention of the “boundary layer” concept by Prandtl in 1904 and the invention of the “triple deck” in three different papers in 1969. The rationalization of the methods by the GALCIT group allowed one to solve, with exactly the same tools, problems at small and large Reynolds number (or problems with a small parameter). This story starts in Göttingen and goes to California before coming to London and Moscow.

© 2017 Académie des sciences. Published by Elsevier Masson SAS. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

R É S U M É

Le but de cette note est de suivre le transport et la diffusion de l'idée d'analyse asymptotique dans le domaine de l'aéronautique des « couches limites » laminaires. Nous nous concentrerons sur les acteurs qui ont travaillé sur le problème de la séparation de la couche limite. Nous restreignons la période d'étude à l'intervalle allant de 1904 à 1970, principalement parce que cette période s'étend de l'invention du concept de « couche limite » par Prandtl, en 1904, à celle de la « triple couche » (ou « triple pont » en français) dans trois articles différents, en 1969. Par ailleurs, la rationalisation de la méthode intitulée « développements asymptotiques raccordés » a permis de résoudre avec exactement les mêmes outils mathématiques des problèmes à petit et à grand nombre de Reynolds, et plus généralement des problèmes avec un petit paramètre. Cette histoire commence à Göttingen et se déplace en Californie, avant de se poursuivre à Londres et à Moscou.

© 2017 Académie des sciences. Published by Elsevier Masson SAS. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

E-mail address: pierre-yves.lagree@upmc.fr.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.crme.2017.06.002>

1631-0721/© 2017 Académie des sciences. Published by Elsevier Masson SAS. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Version française abrégée

Cette « couche limite » dans la période 1904–1969. La notion a été introduite par Ludwig Prandtl à l'université de Göttingen. La montée du nazisme a fait ensuite fuir de nombreux scientifiques aux États-Unis. Parmi eux, Kurt Friedrichs, formé à l'école de Prandtl, synthétise la notion de couche limite en un problème simple. Les idées qu'il a développées pour résoudre ce problème ont été étendues et systématiquement utilisées par un groupe de chercheurs à Los Angeles au Caltech, le GALCIT. Théodore von Kármán, débauché par le prix Nobel Millikan, était le directeur du GALCIT. L'université allemande en général, et celle de Göttingen dont était issu von Kármán en particulier, était caractérisée par une forte interaction entre théorie et pratique ; ce souffle traversa ainsi l'Atlantique entre les deux guerres. Le groupe était constitué de Paco Lagerstrom, Julian Cole et d'autres. Milton Van Dyke, issu de ce groupe, a eu une action particulière par les liens qu'il a tissés à la fois en France, en Angleterre et en URSS. Il a certainement diffusé les idées de la « méthode des développements asymptotiques raccordés ». Cette méthode permet de mieux comprendre la théorie de la couche limite, mais aussi le paradoxe de Stokes à faible vitesse en écoulement très visqueux. Elle permet de comprendre la séparation de la couche limite laminaire. Elle explique ainsi différents paradoxes liés à la viscosité et/ou la séparation (paradoxe « de d'Alembert », paradoxe « de la condition de Brillouin–Villat », paradoxe « de l'influence de l'aval sur l'amont »). Cette dernière théorie, appelée « triple pont » a été établie par K. Stewartson, V. Neiland et A. Messiter simultanément en 1969–1970, à Londres, Moscou et Los Angeles, montrant ainsi que les idées ont évolué indépendamment. Bien entendu, ces idées ont mis du temps à éclore et de nombreux passeurs d'idées ont établi des liens entre les différentes écoles (T. von Kármán, S. Goldstein, J. Lighthill, M. Van Dyke...).

1. Introduction

It is commonly admitted that d'Alembert's paradox was solved by Ludwig Prandtl. D'Alembert's (1717–1783) paradox tells us that, for an incompressible and inviscid potential flow, there is no drag force on a body (of say characteristic size L) moving into a fluid (of viscosity μ and density ρ) at constant velocity U_∞ . This is obviously wrong in practice. In 1904, Prandtl presented the breakthrough idea: one has to simplify the Navier–Stokes equations to estimate the corrective effect of viscosity near the body. But other paradoxes arose during the century, linked with viscosity. To solve them, one needed some mathematical formalization, which was done in the 1940s in North America. Systematic applications came in the fifties and sixties.

This Note shows different levels interacting all together. First, a geographical one: we first present Göttingen University, and how most of the knowledge was deported due to immigration to the United States and how it came back to Europe. Second, a historical one: this story is part of the twentieth century from World War I, nazism rise, World War II, and Cold War. Third, a conceptual one with different paradoxes: “d'Alembert's paradox”, “Stokes' paradox”, “Whitehead's paradox”, “Brillouin–Villat's condition paradox”, “upstream influence paradox”, and maybe to a certain extent “Kutta–Jukowski's condition” paradox. Fourth, a human one: the influence of strong characters like L. Prandtl, T. von Kármán, M. Van Dyke, K. Stewartson (and many other that we will meet in this Note) who have built this story.

2. Germany: Göttingen

The story begins in the Prussian Empire, in Göttingen. The university was re-founded with a clear aim of “combined research and training” according to the ideas of Wilhelm Humboldt (1767–1835), the reform movement being initiated by mathematician Felix Klein (1849–1925). He wanted to establish Göttingen as the world's leading mathematics research centre. For this purpose, Klein hired David Hilbert (1862–1943). He remarked as well a young scientist, Ludwig Prandtl (1875–1953), and gave him the chair of Applied Mechanics. He came to Klein's attention after working at M.A.N. company in Nuremberg. He had to design exhaust ducts for ships [1,2]. He observed that Bernoulli's law was not always applicable, and that flow separation was responsible for discrepancies. That is why he re-examined the Navier–Stokes equations instead of the Euler ones (leading to Bernoulli law). In modern notations (those developed after 1904), the key feature is the simplification of the equations of momentum with respect to a vanishingly small parameter: the inverse Re^{-1} of the Reynolds number (defined as usual as $Re = \rho U_\infty L / \mu$). The Navier–Stokes equations simplify for very small inverse of the Reynolds number in two different problems. First, the inviscid one and second, the viscous one, they have different scales in space (boundary layer relative thickness is $Re^{-1/2}$). He solved the problem of the flat plate, generic to any wing, with the help of Paul Blasius (1883–1970). Blasius was his first PhD student in Göttingen [3]. At the time, the simplification was not presented in a clear rational mathematical framework, as it was the first step toward its creation. The treaty of Versailles had forbidden Germans from having any air force. Hence, Prandtl and his collaborators benefited from German important research efforts on wings and gliders (sailplanes). Schlichting's book being the compilation of all this knowledge, as it came from lectures to German engineers in 1941–1942 (preface to the first edition [4]).

Interestingly enough, at the same time, in 1905, the Swede Vagn Ekman (1874–1954) published his theory of the Ekman spiral. This theory was a response to the question of Fridtjof Nansen during his polar expedition (on the ship named *Fram* from 1893 to 1896). He had observed that icebergs did not drift in the direction of the wind, but always deviated with an angle to the right. The explanation of course did not involve the concept of boundary layer, but the equations are very similar, and modern courses treat “Ekman layer” as a “boundary layer” (as we will see after with K. Stewartson, who worked

Download English Version:

<https://daneshyari.com/en/article/5022541>

Download Persian Version:

<https://daneshyari.com/article/5022541>

[Daneshyari.com](https://daneshyari.com)