

THE NONLINEAR HISTORY OF FIBRE FLOW RESEARCH. PART 1: BACKGROUND AND BEGINNING

ULF BJÖRKMAN

Dept. of Fibre and Polymer Technology, Royal Institute of Technology (KTH),
100 44 Stockholm, Sweden

Email: ulf@kth.se
Fax: x46.8.7908101

Received: 7.9.2007, Final version: 14.12.2008

ABSTRACT:

Technical fibre flows are normally flocky, but have theoretically mainly been treated as individual fibre flows. The reason for this can only be understood in the context of historic development. In Part 1 of this historic investigation the roots of fibre flow research are traced to the beginning of the 19th century. The subsequent development is followed through its formative period in the first half of the 20th century up to about WW2. Part 2 will continue up to about 1960s when the present main tradition had been well established. In Part 2, an example of an alternative approach will also be given, and some proposals for future development presented.

ZUSAMMENFASSUNG:

Technische Faserströmung ist normalerweise flockig, aber wurde theoretisch üblicherweise als Strömung von individuellen Fasern behandelt. Die Ursache dafür kann nur der historischen Entwicklung dieses Bereich erklären. Im ersten Teil dieser historischen Untersuchung, werden der Forschung zur Faserströmung zu Anfang des neunzehnten Jahrhunderts und die prägenden Entwicklung zu Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts bis zu Beginn des zweiten Weltkrieges betrachtet. Der zweite und abschließende Teil erstreckt sich bis ungefähr 1960, der Zeitpunkt da sich die heute übliche Tradition fest etabliert ist. Im zweiten Teil wird auch eine alternative Behandlung technische Faserströmung präsentiert.

RÉSUMÉ:

Le courant des suspensions techniques fibreuses est normalement fouteuse, mais à été surtout modelé comme courant de fibres individuelles. La raison de cela ne peut être comprise que par le développement historique de ce sujet. La première partie de cette investigation historique traite de l'origine de la recherche sur le courant des suspensions techniques fibreuses, dont le point de départ peut être placés au début du dix-neuvième siècle, et a été poursuivi dans les années formatives du début du vingtième siècle jusqu'à la seconde guerre mondiale. La seconde partie nous mène au environ de 1960 quand l'actuelle recherche théorique est définitivement établie, et un exemple d'une vue alternative est présenté. Finalement, quelques suggestions de travaux futurs sont présentées.

KEY WORDS: fibre flow, fibre suspension, research history

1 INTRODUCTION

In all technical fibre flows known to the author, the fibres are transported by flow in transient flocs (i.e. groups of fibres) rather than one by one. The reason for this is basically economic, viz. it is uneconomical to process larger amounts of liquid than necessary at industrial scale. The fibre concentration is therefore kept as high as technically possible without loss in product quality. Such high concentrations normally mean flow is in the flocculated flow regime.

Why then has fibre flow theory concerned itself primarily with flow of fibres instead of flow of fibre flocs? After a thorough investigation of the historical development in this field, my con-

clusion is that the present state of the art derived from a rather complex interaction between a number of scientific and industrial branches beginning in the early 20th century.

The ambition in this work is to present this development as well as the cultural and social soil from which it sprung. Although the goal of natural science is – and should be – results that are independent of personal and social factors, it is the author's firm belief that they play an important role, as will be exemplified many times in this work. E.g. the great and creative scientists set the frames by creating the metaphors we other play with. Some of them have also more directly also influenced the development of fibre

© Appl. Rheol. 18 (2008) 23974-1 – 23974-11

This is an extract of the complete reprint-pdf, available at the Applied Rheology website
<http://www.appliedrheology.org>

This is an extract of the complete reprint-pdf, available at the Applied Rheology website
<http://www.appliedrheology.org>

Applied Rheology
Volume 18 · Issue 2

23974-1

APPENDIX: A METABOLIC SCHEME FOR FIBRE FLOW RESEARCH

The scheme in Fig. A1 is an attempt to illustrate the complex development and influences in fibre flow research. Full lines mark "traditions", grey thick line marks the main theoretical tradition in fibre flow and a broken line marks personal influences.

The continuation of the manuscript entitled "The Nonlinear History of Fibre Flow Research: Part 2. Continuation, Reflections and Suggestion" will be found in the next issue of this journal [76].

REFERENCES

- [1] Trimby: in *The Manufacture of Pulp and Paper*, Vol. 4, McGraw Hill, New York (1938) Sect. 96, 79-82.
- [2] Pfarr A: Holländer und deren Kraftverbrauch, *Wochenblatt für Papierfabrikation* 38 (1907) 3111, 39 (1907) 3185, 40 (1907) 3261.
- [3] Haussner A: Der Zerkleinerungsarbeit im Holländer, *Wochenblatt für Papierfabrikation* 33 (1908) 2783.
- [4] Baldwin PC, van den Akker JA: Study of friction between solid surfaces and moving paper stock suspension, *TAPPI Papers Series* 12 (1939) 317.
- [5] Björkman U: Fibre flow and meta-rheology, *Trans. Nord. Rheol. Soc.* 15 (2006) 69.
- [6] Forrest F, Grierson GAH: Friction losses in cast iron pipe carrying paper stock, *Paper Trade Journal* 22 (1931) 298.
- [7] Brecht W, Heller H: Der Rohrreibungsverlust von Stoffaufschwemmungen, *Wochenblatt für Papierfabrikation* 16 (1935) 264, 342, 380, 439, 474, 529, 587, 641, 714, 747.
- [8] Brecht W, Heller H: A study of the pipe friction losses of paper stock suspensions, *Tappi J.* 33 (1950) 14A (English summary of [7]).
- [9] Smith S: Heltøjshollænderen (in Danish), Ph.D. Thesis, Polytekn. Lærestalt, Copenhagen (1919).
- [10] Smith S: The action of the beater, *Tech. Sect. Paperm. Assoc. Gr. Brit. and Ireland*, London (1923).
- [11] A good source for biographic information about Nobelists is the web site of the Nobel Foundation, nobelprize.org/nobel_prizes.
- [12] Einstein A: Eine neue Bestimmung der Moleküldimensionen, *Ann. Phys.* 19 (1906) 289.
- [13] Einstein A: Zur Theorie der Brownsche Bewegung, *Ann. Phys.* 19 (1905) 371.
- [14] Kirchhoff G: Vorlesungen über mathematische Physik. *Mechanik*, Vorlesung 26, §4, Teubner, Leipzig, 1877.
- [15] Bancelin M: La viscosité des émulsions, *Comptes Rendus Acad. d. Sci. Paris* (1911) 1382.
- [16] Bancelin M: Über die Viskosität von Suspensionen und die Bestimmung der Avogadro'schen Zahl, *Kolloid-Zeitschrift* 9 (1911) 154.
- [17] Einstein A: Berichtigung zu meiner Arbeit: "Eine neue Bestimmung der Moleküldimensionen", *Ann. Phys.* 34 (1911) 591.
- [18] Perrin J: La loi de Stokes et le mouvement brownien, *Comptes Rendus Acad. d. Sci. Paris* 147 (1908) 475.
- [19] Perrin J: Die Brownsche Bewegung und die wahre Existenz der Moleküle, *Kolloidchem. Beih.* 1, Dresden (1910).
- [20] Perrin J: *Les Atomes*, Libraire Félix Alcan, Paris (1913).
- [21] Brongniart AK: Memoire sur la génération et le développement de l'embryon dans les végétaux phanérogames, *Annales. Sci. Naturelles* 12 (1827) 41.
- [22] Brown R: A brief account of microscopical observations made in the months of June, July, and August, 1827, on the particles contained in the pollen of plants; and on the general existence of active molecules in organic and inorganic bodies, *Phil. Mag.* 4 (1828) 171.
- [23] Exner FM: Notiz zu Brown's Molecularbewegung, *Ann. Physik* 2 (1900) 843.
- [24] Gouy L: Note sur le mouvement brownien, *J. Physique Serie II* 7 (1888) 561.
- [25] von Smoluchowski M: Zur kinetischen Theorie der Brownschen Molekularbewegung und der Suspensionen, *Ann. Physik* 21 (1906) 756.
- [26] Svedberg T: Über die Eigenbewegung der Teilchen in kolloidalen Lösungen, *Z. Elektroch.* 12 (1906) 119, 127.
- [27] Henri V: Étude cinématographique des mouvements browniens, *Comptes Rendus Acad. d. Sci. Paris* 146 (1908) 1024.
- [28] Svedberg T: Die Existenz der Moleküle, *Jahrb. d. Radioakt. u. Elektr.* 10 (1912) 467.
- [29] Arrhenius S: Über die innere Reibung verdünnter wässriger Lösungen, *Z. Physik. Chem.* 1 (1887) 285.
- [30] Arrhenius S: Viskosität und Hydratation kolloidaler Lösungen, *Medd. K. Vet.-Akad:s Nobelinst.* 3 (1915) 13.
- [31] Smoluchowski M: Über die Wechselwirkung von Kugeln, die sich in einer zähen Flüssigkeit bewegen, *Bull. Int. Acad. Sci. Krakow* 1A (1911) 28.
- [32] Smoluchowski MS: On the practical applicability of Stokes' law of resistance, and the modification of it required in certain cases, *Proc. 5th Int. Congr. Mathem., Cambridge* 2 (1912) 192.
- [33] von Smoluchowski M: Drei Vorträge über Diffusion, Brownsche Molekularbewegung und Koagulation von Kolloidteilchen, *Phys. Z.* 17 (1916) 557, 585.
- [34] von Smoluchowski M: Versuch einer mathematischen Theorie der Koagulationskinetik kolloider Lösungen, *Z. phys. Chem.* 92 (1917) 9.
- [35] von Smoluchowski M: Theoretische Bemerkungen über die Viskosität der Kolloide, *Kolloid-Z.* 18 (1916) 190.
- [36] Pauli W: The viscosity and electrochemistry of protein solutions, *Trans. Faraday Soc.* 9 (1913) 54.

This is an extract of the complete reprint-pdf, available at the Applied Rheology website

<http://www.appliedrheology.org>

23974-10

Applied Rheology
Volume 18 · Issue 2

This is an extract of the complete reprint-pdf, available at the Applied Rheology website

<http://www.appliedrheology.org>

- [37] Campbell WB, Yorsten FH: The properties of pulp suspensions, *Forest Prod. Lab. Rep. Quart. Rev.* 10 (1932) 38.
- [38] Strachan J: Flocculation in papermaking, *Papermaker and Br. Pap. Trade J.* (1935) 1, 17.
- [39] Wollwage JC: The flocculation of papermaking fibres, *TAPPI Papers Series* 22 (1939) 578.
- [40] Jeffery GB: The motion of ellipsoidal particles immersed in a viscous fluid, *Proc. Roy. Soc. A* 102 (1922) 161.
- [41] Stokes GG: On the theories of the internal friction of fluids in motion, *Cambr. Phil. Trans.* 8 (1845) 75.
- [42] Stokes GG: On the effect of the internal friction of fluids on the motion of pendulums, *Trans. Cambr. Phil. Soc.* 9 (1851) 8.
- [43] Sobel D: *Longitude*, Walker, New York (1995).
- [44] Oberbeck A: Über stationäre Flüssigkeitsbewegungen mit Berücksichtigung der inneren Reibung, *J. reine angew. Math.* 81 (1876) 62.
- [45] Taylor GI: The motion of ellipsoidal particles in a viscous fluid, *Proc. Roy. Soc. A* 103 (1932) 58.
- [46] Onsager L: Reciprocal relations in reversible processes. I., *Phys. Rev.* 37 (1931) 405.
- [47] Onsager L: Reciprocal relations in reversible processes. II., *Phys. Rev.* 38 (1931) 2265.
- [48] Thomson W (Lord Kelvin): On a mechanical theory of thermo-electric currents, *Proc. Roy. Soc. Edinburgh* (1854) 121.
- [49] Burgers JM: Second report on viscosity and plasticity, *Proc. Acad. Sci. Amsterdam* (1938).
- [50] Saffman PG: On the motion of small spherical particles in a viscous liquid, *J. Fluid. Mech.* 1 (1956) 540.
- [51] Goldsmith HL, Mason SG: The microrheology of dispersions, in *Rheology. Theory and Application*, Vol. 4, Academic Press, New York (1967).
- [52] Verhás J: The treatment of transport processes with variational principles (in Hungarian), Ph.D. Thesis, Budapest (1965).
- [53] Gyarmati I: *Non-equilibrium thermodynamics*, Springer, Berlin (1970).
- [54] Kuhn W: Über Teilchenform und Teilchengröße aus Viskosität und Strömungsdoppelbrechung, *Z. Phys. Chem. A* 161 (1932) 1.
- [55] Kuhn W: Dehnungsdoppelbrechung von Kolloiden in Lösung, *Z. Phys. Chem A* 161 (1932) 427.
- [56] Kuhn W: Über quantitative Deutung der Viskosität und Strömungsdoppelbrechung von Suspensionen, *Kolloid-Z.* 62 (1933) 269.
- [57] Guth E: Untersuchungen über die Viskosität von Suspensionen und Lösungen. 1. Über die Viskosität von Suspensionen, *Kolloid-Z.* 74 (1936) 147.
- [58] Eirich F, Margaretha H Bunzl, L: Untersuchungen über die Viskosität von Suspensionen und Lösungen. 6. Über die Viskosität von Stäbchensuspensionen, *Kolloid-Z.* 75 (1936) 20.
- [59] Gans R: Zur Theorie der Brownschen Molekularbewegung, *Ann. Phys.* 86 (1928) 628.
- [60] Eisenschütz R: Der Einfluss der Brownschen Bewegung auf die Viskosität von Suspensionen, *Z. phys. Chem. A* 163 (1933) 133.
- [61] Goodeve CF: A general theory of thixotropy and viscosity, *Trans. Faraday Soc.* 35 (1939) 242.
- [62] Furukawa Y: *Inventing polymer science: Staudinger, Carothers, and the emergence of macromolecular chemistry*, Univ. Penn. Press, Philadelphia (1998).
- [63] Mark HF: *Physik und Chemie der Cellulose*, Springer, Berlin (1932).
- [64] Feichtinger J: *Die Wiener Schule der Hochpolymerforschung in England und Amerika. Emigration, Wissenschaftswandel und Innovation, Theodor Körner-Förderpreis Kontribution* (1999) <http://www.kfunigraz.ac.at/~johannes/HPF.htm>.
- [65] Staudinger H: *Die hochmolekularen organischen Verbindungen*, Springer, Berlin (1932).
- [66] Eisenschütz R: Die Viskosität von Suspensionen langgestreckter Teilchen und ihre Interpretation durch Raumbeanspruchungen, *Z. phys. Chem. A* 158 (1931) 78.
- [67] Guth E, Mark H: Die Viskosität von Lösungen, besonders von Lösungen hochmolekularer Stoffe, *Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften* 12 (1933) 115.
- [68] Guth E: Untersuchungen über die Viskosität von Suspensionen und Lösungen. 5. Über den Einfluß der Brown'schen Bewegung auf die Viskosität von Ellipsoidsuspensionen, *Kolloid-Z.* 75 (1936) 15.
- [69] Krasny-Ergen W: Untersuchungen über die Viskosität von Suspensionen und Lösungen. 2. Zur Theorie der Elektroviskosität, *Kolloid-Z.* 74 (1936) 172.
- [70] Guth E, Simha R: Untersuchungen über die Viskosität von Suspensionen und Lösungen. 3. Über die Viskosität von Kugelsuspensionen, *Kolloid-Z.* 74 (1936) 266.
- [71] Eirich F, Margaretha H, Bunzl L: Untersuchungen über die Viskosität von Suspensionen und Lösungen. 4. Über die Viskosität von Kugelsuspensionen, *Kolloid-Z.* 74 (1936) 276.
- [72] Simha R: Untersuchungen über die Viskosität von Suspensionen und Lösungen. 7. Über die Viskosität von Kugelsuspensionen, *Kolloid-Z.* 76 (1936) 16.
- [73] Eirich F, Goldschmid O: Untersuchungen über die Viskosität von Suspensionen und Lösungen. 8. Über Trägheitseffekt suspendierter Kugeln, *Kolloid-Z.* 81 (1937) 7.
- [74] Eirich F, Simha R: Über den Wirkungsquerschnitt nichtkuglicher Teilchen, *Z. physik. Chem. A* 180 (1937) 447.
- [75] Greenwood NN, Spink JA: An antipodean laboratory of remarkable distinction, *Notes Rec. R. Soc. Lond.* 57 (2003) 85.
- [76] Björkman U: The Nonlinear History of Fibre Flow Research: Part 2. Continuation, Reflections and Suggestion, *Appl. Rheol.* 18 (2008) 34694.

