Eine Fields-Medaille für Stas Smirnov

Daniel Meyer und Dierk Schleicher

Stanislav Smirnov, meist „Stas" genannt, erhielt seine Fields-Medaille „für den Beweis der konformen Invarianz von Perkolation und dem ebenen Ising-Modell in der Statistischen Physik" auf dem International Congress of Mathematicians (ICM) 2010 in Hyderabad. In diesem Beitrag wollen wir einen Eindruck davon vermitteln, was seine Ergebnisse bedeuten und warum sie wichtig sind.

Abbildung 1. *Stas Smirnov in Bremen bei der Feier zum 50. Jubiläum 2009 der Internationalen Mathematik-Olympiade*

Stas wurde am 3. September 1970 in Sankt Petersburg (Russland) geboren (so dass er seine Fields-Medaille 16 Tage vor seinem 40. Geburtstag überreicht bekam[1]). Stas war bereits zu Schulzeiten höchst erfolgreich: Bei den Internationalen Mathematik-Olympiaden 1986 und 1987 gewann er jeweils Gold, beide Male mit voller Punktzahl.

Stas studierte zunächst in Sankt Petersburg; sein Betreuer in Mathematischer Analysis war Viktor Havin. Im Jahre 1996 promovierte er am California Institute of Technology bei Nikolai Makarov mit einer Arbeit aus dem Gebiet der holomorphen Dynamik über die Spektralanalysis von Julia-Mengen. In der holomorphen Dynamik arbeitete er auch in den folgenden Jahren; seine bekanntesten Arbeiten sind beide in den *Inventiones* erschienen [7, 11]. Stas hatte befristete Stellen in Yale, am Max-Planck-Institut in Bonn und am Institute for Advanced Studies in Princeton, bevor er 1998 nach Stockholm an die Königliche Technische Universität und die Königliche Akademie der Wissenschaften ging. Seit 2003 ist er Professor für Mathematik in Genf. Gegenwärtig ist er Gastprofessor in Sankt Petersburg. Zu seinen weiteren Auszeichnungen gehören der Salem-Preis (2001, mit Oded Schramm), ein Clay-Forschungspreis (2001) und der Preis der Europäischen Mathematischen Gesellschaft (2004).

Das Fields-Medaillen-Komitee stellt Stas' bahnbrechende Arbeiten in der Statistischen Physik in zwei Dimensionen heraus (vgl. [9]). Dies ist eine sehr aktive Forschungsrichtung in Physik wie auch in Mathematik. Eines der zentralen Themen in Statistischer Physik sind „Phasenübergänge", und in dem betrachteten Kontext sind sie am besten zu verstehen. Physiker haben viele bemerkenswerte Ergebnisse in dieser Richtung erzielt; die verwendeten Methoden sind aus mathematischer Sicht aber nicht immer rigoros. Von den untersuchten Modellen wurde angenommen, dass sie einen Skalierungsgrenzwert haben und dass dieser Grenzwert bestimmte nützliche Eigenschaften hat. Stas hat gezeigt, dass zwei besonders wichtige Modelle die angenommenen Eigenschaften wirklich haben und hat dadurch viele Ergebnisse der Physiker auf eine stabile Grundlage gestellt. Wir möchten betonen, dass sich die von Stas und seinen Kollegen verwendeten Methoden nicht nur grundlegend von denen in der Physik benutzten unterscheiden, sondern zudem auch noch einfacher sind. Stas' Arbeit besteht also nicht nur darin, Ergebnisse neu zu beweisen, die Physiker ohnehin „wussten", sondern sie liefert starke neue Techniken und Einsichten.

Eine wichtige Frage in der Statistischen Festkörperphysik besteht darin, makroskopische Eigenschaften von Materialien zu verstehen, die aus einer großen Zahl kleiner Teilchen, etwa Atomen, bestehen, die in einem Gitter angeordnet sind – siehe Abbildung 2. Jedes Atom kann sich in einem von endlich vielen Zuständen befinden, und die Frage ist, wie die makroskopischen Materialeigenschaften von den Zuständen der Atome und ihren Wechselwirkungen abhängen.

Ein wichtiges Szenario besteht darin, dass alle Atome „Elementarmagnete" sind, die sich im einfachsten Fall in einem von zwei Zuständen befinden, also etwa nach oben oder unten zeigen. Wenn viele Elementarmagnete alle in die gleiche Richtung zeigen, dann ist das makroskopische Material magnetisch. Benachbarte Elementar

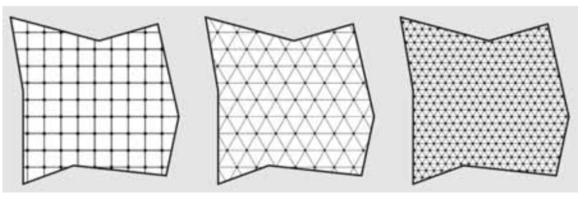

Abbildung 2. *Links: Ein zweidimensionales Gebiet ist durch ein Rechteck-Gitter gefüllt; Mitte: das gleiche Gebiet mit einem regulären Dreiecksgitter; rechts: das gleiche Gebiet mit einem regulären Dreiecksgitter mit viel kleinerer Gitterkonstante.*

magnete „wollen“ in die gleiche Richtung zeigen: Es gibt (letztlich wegen des Pauli-Prinzips der Quantenmechanik) eine feste positive Energiedifferenz zwischen „parallelen“ und „antiparallelen“ Energiezuständen jeweils zweier benachbarter Atome. Zustände niedriger Energie haben eine höhere Wahrscheinlichkeit. Daher findet man typischerweise kleinere oder größere Gebiete benachbarter Elementarmagnete, die in die gleiche Richtung zeigen. Dies hängt von einer externen Größe ab, der Temperatur, die im Wesentlichen „Energie pro Freiheitsgrad“ bedeutet. Je niedriger die Temperatur, desto mehr Bedeutung hat der durch Parallelität benachbarter Elementarmagnete bedingte Energiegewinn im Vergleich zur Durchschnittsenergie, die von der Temperatur kommt; und umso größer sind die Gebiete gleich orientierter Magnete. Es stellt sich heraus, dass es eine kritische Temperatur gibt, die „Curie-Temperatur“, bei der das Verhalten sich plötzlich ändert: Unterhalb der Curie-Temperatur gibt es große makroskopische Gebiete parallel orientierter Elementarmagnete, während es oberhalb dieser Temperatur keine makroskopische Magnetisierung gibt. Physiker nennen eine solche plötzliche Änderung des Verhaltens einen „Phasenübergang“, und das Verhalten der Gebiete gleicher Magnetisierung ist bei Weitem am interessantesten bei der „kritischen Temperatur“ (ein analoger Phasenübergang findet beim Schmelzen von Eis zu Wasser statt). Das bekannteste Modell, das diesen Magnetismus beschreibt, ist als *Ising-Modell* bekannt.

Wovon hängt die Form der Gebiete gleicher Magnetisierung bei der kritischen Temperatur ab? Eine grundlegende Eigenschaft, die die Physiker seit Langem erwartet haben, ist die Existenz eines *Skalierungsgrenzwertes*: Wenn die Größe und der gegenseitige Abstand der Elementarmagnete (also die Gitterkonstante) gegen null gehen, so dass das Gitter unendlich fein wird, dann konvergieren die Formen der Magnetisierungsgebiete gegen einen Grenzwert (genauer gesagt, hat ihre Wahrscheinlichkeitsverteilung einen Grenzwert). Eine zweite Eigenschaft ist *Universalität* in Bezug auf Gitter: Die Formen im Skalierungsgrenzwert hängen nicht vom verwendeten Gitter ab, sie sind also z. B. für Rechteck- und Dreiecksgitter dieselben (obwohl sich die kritische Temperatur bei unterschiedlichen Gittern unterscheidet).

Eine dritte Eigenschaft, *konforme Invarianz*, bedeutet Folgendes: Eine konforme Abbildung ist eine glatte bijektive Abbildung, die Winkel erhält (zumindest infinitesimal); der Riemannsche Abbildungssatz zeigt, dass es in der Ebene eine Vielzahl konformer Abbildungen gibt: je zwei einfach zusammenhängende Gebiete in der Ebene (außer der gesamten Ebene natürlich) haben eine Abbildung, die das eine Gebiet konform und bijektiv auf das andere abbildet.

Betrachten wir also zwei konform äquivalente Gebiete. Wir approximieren jedes davon durch ein Gitter (wie in Abbildung 2). Jeder Gitterpunkt enthält einen Elementarmagneten, der nach „oben“ oder „unten“ zeigen kann. Wir betrachten die Gebiete gleicher Magnetisierung bei der Curie-Temperatur und untersuchen den Skalierungsgrenzwert, d. h. wir verwenden immer feinere Gitter, um diese Gebiete zu approximieren. Dann bilden wir mit der konformen Abbildung die resultierenden Gebiete von dem einen Gebiet auf das andere ab. Konforme Invarianz bedeutet, dass die entstehenden Bilder des ersten Gebiets, in das zweite Gebiet transportiert, sich von den im zweiten Gebiet entstehenden nicht unterscheiden; genauer gesagt, ist ihre Wahrscheinlichkeitsdistribution die gleiche (obwohl die konforme Abbildung das erste Gitter nicht auf das zweite abbildet).

Konforme Invarianz vereinfacht viele Fragestellungen erheblich. Zum Beispiel brauchen wir uns um eine eventuell komplizierte Form des Gebiets keine Gedanken zu machen, denn wir können einfach in einem „schönen“ Gebiet wie etwa einer Kreisschreibe arbeiten.

Stas hat bewiesen, dass das Ising-Modell in der Tat einen Skalierungsgrenzwert hat, dass dieser Grenzwert universell ist (in gemeinsamer Arbeit mit Dmitry Chelkak) und dass dieser konform invariant ist; siehe [16, 6]. Dies stellt das wichtigste Modell zur Beschreibung von Magnetismus, das Ising-Modell, auf solide mathematische Grundlagen.

Weitere fundamentale Arbeiten von Stas beziehen sich auf *Perkolation*.[2] Dies ist ein sehr aktives Gebiet mit vielen Verbindungen zwischen Mathematik und unterschiedlichen Anwendungen; vor nicht allzu langer Zeit war dies ein Thema einer „Mathematischen Arbeitsgemeinschaft“ in Oberwolfach [2]. Wir haben wieder ein ebenes Gebiet, das mit gitterförmig angeordneten Atomen gefüllt ist. Dieses beschreiben wir durch einen großen Graphen: Die Atome bilden die Ecken, und Kanten verbinden benachbarte Atome. Jede Ecke kann einen von zwei Zuständen einnehmen: „offen“ oder „geschlossen“. Wir interessieren uns für Gruppen offener Ecken, die durch Kantenzüge verbunden werden können, die nur entlang offener Ecken laufen: wenn beispielsweise „offen“ als „elektrisch leitend“ interpretiert wird, dann interessieren wir uns für elektrisch leitende Gebiete.[3] Diese allgemeine Situation beschreibt nicht nur elektrisch leitende makroskopische Objekte, sondern auch poröse Medien, die Flüssigkeiten durchlassen können oder auch nicht; diese sind beispielsweise in der Geologie und anderen Wissenschaften von Interesse. Perkolation ist auch verwendet worden, um die Ausbreitung von Krankheiten, Feuern oder Gerüchten zu modellieren, die Verdrängung von Öl durch Wasser, oder das Verhalten elektrischer Schaltkreise [2]. Die mathematische Standardreferenz über Perkolation ist das Buch von Grimmett [8], und es gibt einen schönen einführenden Text von Kesten [10].

Nehmen wir an, alle Ecken sind unabhängig voneinander offen oder geschlossen, so dass jede Ecke mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit p offen ist. Hier gibt es wieder einen Phasenübergang: Es gibt eine kritische Wahrscheinlichkeit p_{crit}, so dass für alle $p > p_{crit}$ die

Wahrscheinlichkeit dafür, dass es ein einziges großes zusammenhängendes Gebiet offener Ecken gibt (und viele kleine), gegen eins geht (im Grenzfall, dass die Eckenzahl nach ∞ geht). Ist hingegen $p < p_{crit}$, dann sind die zusammhängenden verbundenen Gebiete klein, und es gibt viele davon.

Sei also $U \subset \mathbb{R}^2$ ein einfach zusammenhängendes Gebiet, das durch ein Gitter gefüllt ist (sagen wir, ein reguläres Dreiecksgitter), und seien I und J zwei disjunkte zusammenhängende Teilmengen des Randes von U. Wir stellen die Frage, ob I und J durch einen Weg im Gitter verbunden werden können, der nur durch offene Ecken läuft. Wie zuvor interessieren wir uns für den Skalierungsgrenzwert, wenn die Gitterkonstante gegen null geht. Falls $p < p_{crit}$, dann ist die Verbindungswahrscheinlichkeit im Grenzwert gleich null, während sie für $p > p_{crit}$ gleich eins ist. Die interessante Frage ist, was man im kritischen Fall $p = p_{crit}$ aussagen kann. Wie sieht die kritische Perkolation aus?

Die Verbindungswahrscheinlichkeit (für ein gegebenes Gitter bei der kritischen Wahrscheinlichkeit p_{crit}) hängt natürlich von U, I, J und der Gitterkonstanten ab. Stas hat die (völlig nicht-offensichtliche) Tatsache bewiesen, dass der Skalierungsgrenzwert existiert, und er hat eine Formel für diese Grenzwahrscheinlichkeit bewiesen, die von John Cardy 1992 mit nicht-rigorosen Methoden vorhergesagt worden war [4]. Cardys Formel ist kompliziert:

$$\frac{3\Gamma(2/3)}{\Gamma(1/3)}\eta^{1/3}\,{}_2F_1(1/3, 2/3, 4/3; \eta)\,;$$

dies benutzt die Γ-Funktion und die hypergeometrische Funktion ${}_2F_1$, und η beschreibt die geometrische Größe der ausgezeichneten Randgebiete I und J; siehe unten.

Eine andere fundamentale Eigenschaft, die Physiker seit Langem erwartet haben, ist *konforme Invarianz*. In diesem Falle lässt sie sich quantitativ folgendermaßen ausdrücken: Seien U und U' zwei Gebiete mit ausgezeichneten zusammenhängenden Rand-Teilen I, J bzw. I', J', so dass es einen konformen Isomorphismus (eine Riemann-Abbildung) von U nach U' gibt, die die Randteile I nach I' und J nach J' abbildet (in anderen Worten, (U, I, J) und (U', I', J') sind konform äquivalent). Konforme Invarianz besagt, dass diese beiden Gebiete die gleiche Übergangswahrscheinlichkeit haben (im Skalierungsgrenzfall) – obwohl, wie oben, die konforme Abbildung die Gitter selbst nicht aufeinander abbilden wird. Dies gibt eine einfache Interpretation von η als *konformem Modul* der ausgezeichneten Ränder: Es gibt eine (im Wesentlichen eindeutige) konforme Abbildung von U auf ein Rechteck, so dass I und I' auf gegenüberliegende Seiten abgebildet werden. Dann ist η das Verhältnis der Seitenlängen von R.

Lennart Carleson hat eine leicht verständliche Interpretation von Cardys Formel in einem einfachen Spezialfall gefunden: Angenommen, U ist ein gleichseitiges Dreieck mit Ecken a, b und c, und sei d ein weiterer Punkt auf

Abbildung 3. *Wendelin Werner und Stas Smirnov im Jahre 2009 (bei der Verteidigung der Doktorarbeit von Antti Kemppainen, eines Doktoranden von Stas). Foto: O. Ajanki.*

der Seite bc. Sei I die Seite (ab), und sei J das Intervall $(cd) \subset (bc)$. Dann ist die Übergangswahrscheinlichkeit einfach $|cd|/|ab|$: Die oben genannte komplizierte Formel von Cardy nimmt hier also eine ganz einfache Form an. Natürlich muss Cardys Formel in diesem Spezialfall auch bewiesen werden: Aber *wenn* konforme Invarianz bewiesen ist, dann reicht das aus, um den allgemeinen Fall zu zeigen; Stas hat beides bewiesen [15, 17] (die Kompliziertheit der Formel resultiert also allein aus der Riemann-Abbildung des Dreiecks auf ein Rechteck). Dies kam völlig unerwartet: in dem gleichen Jahr 2001, in dem Stas dieses Ergebnis fand, erschien eine Arbeit von Greg Lawler, Oded Schramm und Wendelin Werner [11] mit folgendem Zitat: „Gegenwärtig scheint ein Beweis dieser Vermutung [dass der Skalierungsgrenzwert existiert und konform invariant ist] völlig außer Reichweite ..." (Wendelin Werner erhielt 2006 seine Fields-Medaille.) Allerdings ist bis heute die Universalität für Perkolation *nicht* bekannt: Stas' Argumente benutzen die Struktur des Dreiecksgitters in sehr cleverer Weise. Bis jetzt ist es noch nicht gelungen, diese Argumente etwa auf das Rechteck-Gitter zu übertragen. Eine vereinfachte Darstellung seiner Argumente findet sich in [1].

Die zusammenhängenden Gebiete offener Ecken haben sehr komplizierte Ränder; im Skalierungsgrenzwert werden sie durch eine (probabilistische) Kurve beschrieben, die aus einem „Schramm-Loewner-Evolution mit Parameter 6" genannten Prozess hervorgeht. Karl Löwner (der sich später Charles Loewner nannte) hatte in den 1920er Jahren einen Evolutionsprozess konformer Abbildungen eingeführt, um einen Spezialfall der berühmten Bieberbach-Vermutung über konforme Abbildungen zu zeigen. Eine stochastische Version davon ist von Oded Schramm in den 1990er Jahren eingeführt worden, um alle Zufallskurven zu beschreiben, die bestimmte Eigenschaften statistischer Unabhängigkeit erfüllen [14, 13]. Diese Prozesse hängen von einem reellen Geschwindigkeitsparameter $\kappa > 0$ ab. Mittlerweile ist dieser Prozess als „Schramm-Loewner-Evolution" bekannt und wird SLE (oder genauer SLE(κ)) genannt. Durch diese Zufallskurven lassen sich viele Prozesse der Statistischen Physik beschreiben. Stas hat gezeigt, dass kritische Perkolation (genauer, der Skalierungsgrenzwert der Randkurven zusammenhängender „offener" Gebiete im Dreiecksgitter) sich durch SLE mit Parameter $\kappa = 6$ beschreiben lässt.

Auch seine Arbeit zum Ising-Modell hängt eng mit SLE zusammen. Hier benutzt er die Konzepte von SLE, um konforme Invarianz zu beweisen: Er zeigt nämlich, dass die Randkurven im Ising-Modell bei kritischer Temperatur gerade durch SLE(3) gegeben sind, und folgert daraus die konforme Invarianz.

Stas ist ein Mathematiker mit breitgefächterten Forschungsinteressen und vielfältigen Begabungen. Er hält exzellente Forschungsvorträge: Er ist ein Meister darin, das Umfeld, die Fragestellungen und ihre Bedeutung spannend und verständlich klarzumachen, beschreibt dann die bekannten Teilergebnisse und schließt normalerweise mit dem Beweis des allgemeinen Falls. Er hat enorme Kreativität, innerhalb und außerhalb der Mathematik, und meint von sich selbst, er habe einen „unglaublich schrägen" Sinn für Humor; das können wir fröhlich bestätigen, außer das „schräg". Seine Fähigkeit, komplexe Zusammenhänge eingängig zu beschreiben, findet sich zum Beispiel in dem Text [19], der für mathematisch interessierte Nicht-Experten geschrieben ist.

Als er die Fields-Medaille verliehen bekommen hatte, sagte er von sich selbst: „Ich freue mich darauf, weitere Theoreme zu beweisen, und hoffe, dass das Gewicht dieser Auszeichnung mich nicht bremsen wird" [3]. Einen schönen Ausdruck findet das im Web-Blog von Timothy Gowers [5], einem Mitglied des Fields-Medaillen-Komitees. Er beschreibt die Vorstellung von Stas' Arbeiten auf dem International Congress of Mathematicians (ICM) durch Harry Kesten:

> Seine nächste Bemerkung war eine sehr angenehme Überraschung: seitdem das Komitee seine Entscheidung gefällt hatte – in der Tat, in den vergangenen zwei Monaten –, hat Smirnov ein weiteres großes Theorem bewiesen. [...] Das Angenehme daran war einfach, dass man als Komiteemitglied eine Bestätigung haben möchte, die richtige Wahl getroffen zu haben (sofern man sinnvollerweise überhaupt von einem Konzept der ‚richtigen Wahl' sprechen kann ...). Ein wichtiger Aspekt der Medaille ist, vielversprechendes Potenzial auszuzeichnen, und daher begrüße ich mit dankbarer Überraschung die Tatsache, dass Smirnov dieses Versprechen auf die Zukunft in großartiger Weise einlöst, sogar vor dem ICM.

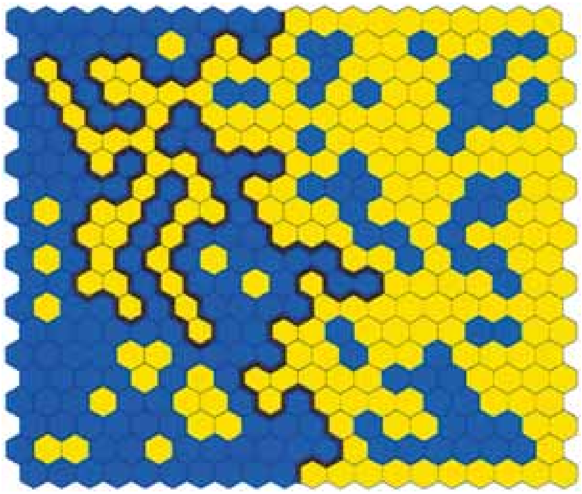

Abbildung 4. *Perkolation auf einem Dreiecksgitter. Offene Ecken sind gelb, geschlossene Ecken blau, und Ecken sind durch Sechsecke maximaler Größe dargestellt, so dass die Sechsecke gerade die Ebene füllen. Eine dicke Linie kennzeichnet den Rand des großen offenen (gelben) Bereichs. Im Skalierungsgrenzfall wird dies eine SLE(6)-Kurve sein. (Abbildung aus [9].)*

Das Ergebnis, auf das Gowers sich bezieht, ist die präzise Bestimmung der *Verbindungskonstante* (connective constant) für das ebene hexagonale Gitter mit dem Wert $\sqrt{2+\sqrt{2}}$. Wir werden dies hier nicht beschreiben – Stas selbst hat es schön erklärt in [19].

Wir schließen mit dem Bericht von einem kleinen „Unfall" und einer Anekdote. Um ein besseres Verständnis für das Verhalten von Perkolation und alle seine Möglichkeiten zu bekommen, hatte einer der Pioniere dieses Gebiets, Oded Schramm, ein Computerprogramm geschrieben, das Zufallsbilder von Perkolation erzeugte. Nachdem er sich einige dieser Bilder auf dem Computer angesehen hatte, beschloss Stas, einige davon auszudrucken und schickte das Programm vor dem Mittagessen an den Drucker. Was er nicht wusste war, dass das Programm fortlaufend neue Bilder erzeugt, so dass er bei der Rückkehr vom Essen kartonweise Zufallsbilder von Perkolation vorfand. Ob diese ihm geholfen haben, mehr Erfahrung und eine bessere geometrische Intuiton zu gewinnen?

Zum Schluss eine Anekdote vom ICM in Hyderabad, auf dem Stas unter großer medialer Aufmerksamkeit die Fields-Medaille erhielt. Er hatte versucht, sich darauf vorzubereiten, indem er zuvor einschlägig erfahrene Freunde gefragt hatte, wie viel Trubel er zu erwarten habe und wie lange dieser wohl anhielte. Was er nicht erwartet hatte, waren die zwei am häufigsten gestellten Fragen der russischen Journalisten (die offensichtlich ihrerseits Erfahrung mit russischen Fields-Medaillisten hatten). Frage 1: „Werden Sie die Fields-Medaille ebenfalls ablehnen?" Wenn er versicherte, dass er das nicht vorhabe, kam Frage 2: „Was werden Sie mit der Million Dollar tun?"[4]

Anmerkungen

1. Die Regeln zur Fields-Medaille sehen vor, dass „junge" Mathematiker ausgezeichnet werden sollen. Dies wird üblicherweise, aber inoffiziell, interpretiert als „im Alter von unter 40 Jahren" – aber Stichtag ist nicht der Tag der Überreichung, sondern der 1. Januar davor.
2. Das Wort *to percolate* bedeutet *durchsickern* oder auch *filtern*. Ein ‚Percolator' ist eine Kaffeemaschine.
3. Dieses Modell beschreibt „Eckenperkolation" (site percolation); man kann Perkolation auch so definieren, dass nicht Ecken, sondern Kanten „offen" oder „geschlossen" sein können: Dies ist als „Kantenperkolation" (bond percolation) bekannt. Jedes Kantenperkolations-System lässt sich auch als Eckenperkolation (auf einem anderen Graphen) beschreiben, aber nicht immer umgekehrt; daher ist Eckenperkolation das allgemeinere Modell.
4. Dies ist natürlich ein Insiderwitz: Der vorherige russische Fields-Medaillist ist Grigori Perelman, eine sehr ungewöhnliche Persönlichkeit; er kommt wie Stas aus Sankt Petersburg und ging sogar auf die gleiche Schule. Er erhielt die Fields-Medaille 2006, hat sie aber abgelehnt. Der Geldpreis, der zu einer Fields-Medaille gehört, ist mit etwa 15 000 Dollar relativ gering. Eines von Perelmans wichtigsten Ergebnissen ist der Beweis der Poincaré-Vermutung (sogar in einer stärkeren Form, die auf Thurston zurückgeht), und dies war eines der sieben Probleme, für die die Clay-Stiftung jeweils eine Million Dollar ausgelobt hatte. Diesen Preis hat Perelman ebenfalls abgelehnt, relativ kurz vor dem ICM (die *Mitteilungen* berichteten in Heft 18-3). Stas' Arbeiten haben nicht direkt mit den Clay-Problemen zu tun, daher erhielt er nur den relativ bescheidenen Betrag von 15 000 Dollar.

Literatur

[1] Vincent Beffara: *Cardy's formula on the triangular lattice, the easy way*. In: Ilia Binder und Dirk Kreimer (eds.): *Universality and renormalization*. Fields Inst. Commun. **50**, Amer. Math. Soc., Providence, RI, 2007, pp. 39–45.

[2] Vincent Beffara, Jacob van den Berg und Federico Camia: *Oberwolfach Arbeitgemeinschaft: Percolation*. Abstracts from the session held October 7–13, 2007. Oberwolfach Reports **4** 4 (2007), 2851–2892

[3] Alex Bellos, *Mathematics 'Nobel' rewards boundary-busting work*. New Scientist (online edition, 19 August 2010). http://www.newscientist.com/article/dn19337-mathematics-nobel-rewards-boundarybusting-work.html.

[4] John L. Cardy: *Critical percolation in finite geometries*. J. Phys. A **25** 4 (1992).

[5] Timothy Gowers, *Gowers' weblog*. http://gowers.wordpress.com/2010/08/22/icm2010-smirnov-laudatio/.

[6] Dmitry Chelkak und Stanislav Smirnov: *Universality in the 2D Ising model and conformal invariance of fermionic observables*. ArXiv 0910.2045.

[7] Jacek Graczyk und Stanislav Smirnov: *Non-uniform hyperbolicity in complex dynamics*. Invent. Math. **175** 2 (2009), 335–415.

[8] Geoffrey Grimmett: *Percolation*, 2nd edition. Springer-Verlag 1999, 444 pp.

[9] Harry Kesten: *The work of Stanislav Smirnov*. Available at: http://www.icm2010.org.in/wp-content/icmfiles/laudaions/fields3.pdf [sic!]

[10] Harry Kesten: *What is … percolation?* Notices Amer. Math. Soc. **53** 5 (2006), 572–573.

[11] Greg Lawler, Oded Schramm und Wendelin Werner: *Values of Brownian intersection exponents I, half-plane exponents*. Acta Math. 187 (2001), 237–273.

[12] Feliks Przytycki, Juan Rivera-Letelier und Stanislav Smirnov: *Equivalence and topological invariance of conditions for non-uniform hyperbolicity in the iteration of rational maps*. Invent. Math. **151** 1 (2003), 29–63.

[13] Steffen Rohde und Oded Schramm, *Basic properties of SLE*, Ann. of Math. (2) **161** (2005), 883–924.

[14] Oded Schramm, *Scaling limits of loop-erased random walks and uniform spanning trees*. Israel J. Math. **118** (2000), 221–288.

[15] Stanislav Smirnov: *Critical percolation in the plane*. Comptes Rendus Acad. Sci. Paris, Series Math. **333** (2001), 239–244.

[16] Stanislav Smirnov: *Conformal invariance in random cluster models. I. Holomorphic fermions in the Ising model*. Ann. of Math. (2) **172** 2 (2010), 1435–1467.

[17] Stanislav Smirnov: *Critical percolation in the plane*. ArXiv:0909.4499.

[18] Stanislav Smirnov: *Discrete Complex Analysis and Probability*. Wird erscheinen in: Proceedings of the International Congress of Mathematicians (ICM), Hyderabad, India, 2010. ArXiv: 1009.6077

[19] Stanislav Smirnov: *How do Research Problems Compare with IMO Problems? – A Walk Around Games*. Wird erscheinen in: *An invitation to mathematics – from competitions to research* (Dierk Schleicher and Malte Lackmann, editors), Springer-Verlag.

Prof. Daniel Meyer, PhD
Prof. Dierk Schleicher, PhD
Jacobs University, Research I, Postfach 750 561, 28725 Bremen
dmeyermail@gmail.com
dierk@jacobs-university.de

Daniel Meyer erhielt seinen Doktor 2004 an University of Washington in Seattle. Danach war er Postdoc an der University of Michigan, Ann Arbor, an der Universität von Genf und der Universität von Helsinki. Seit 2011 ist er Professor an der Jacobs Universität Bremen.

Dierk Schleicher promovierte 1994 an der Cornell University in New York und war danach Postdoc in Berkeley und an der TU München, dann Gastprofessor in Stony Brook und an der LMU München, bevor er 2001 als erster Professor an die Jacobs University Bremen ging. Längere Forschungsaufenthalte führten ihn an das IHES und später das IHP in Paris und an das Fields-Institut in Toronto. Er war einer der verantwortlichen Organisatoren der Internationalen Mathematik-Olympiade 2009 in Bremen.