

Транспортный семинар в НМУ

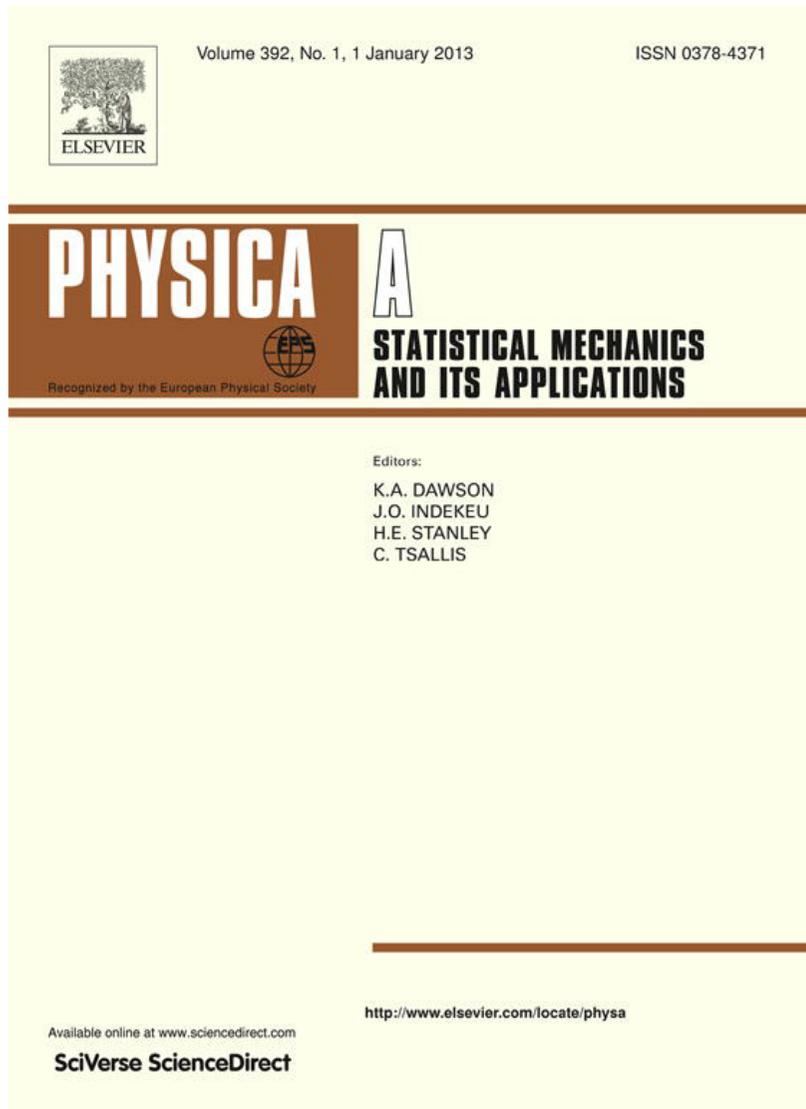
**Динамика транспортных потоков в  
эмпирических данных от автомобилей с  
навигационными системами, исследованная на  
основе теории трех фаз Кернера: реконструкция  
состояний транспортного потока и генерация  
предупреждения о заторах**

Кленов С.Л.

к.ф.-м.н, доцент кафедры общей физики, МФТИ (ГУ)

26 января 2013

# Доклад по результатам публикации



Physica A 392 (2013) 221–251

Traffic dynamics in empirical probe vehicle data studied with three-phase theory: Spatiotemporal reconstruction of traffic phases and generation of jam warning messages

Boris S. Kerner <sup>a</sup>, Hubert Rehborn <sup>a</sup>, Ralf-Peter Schdfer <sup>b</sup>,  
Sergey L. Klenov <sup>c</sup>, Jochen Palmer <sup>a</sup>,  
Stefan Lorkowski <sup>b</sup>, Nikolaus Witte <sup>b</sup>

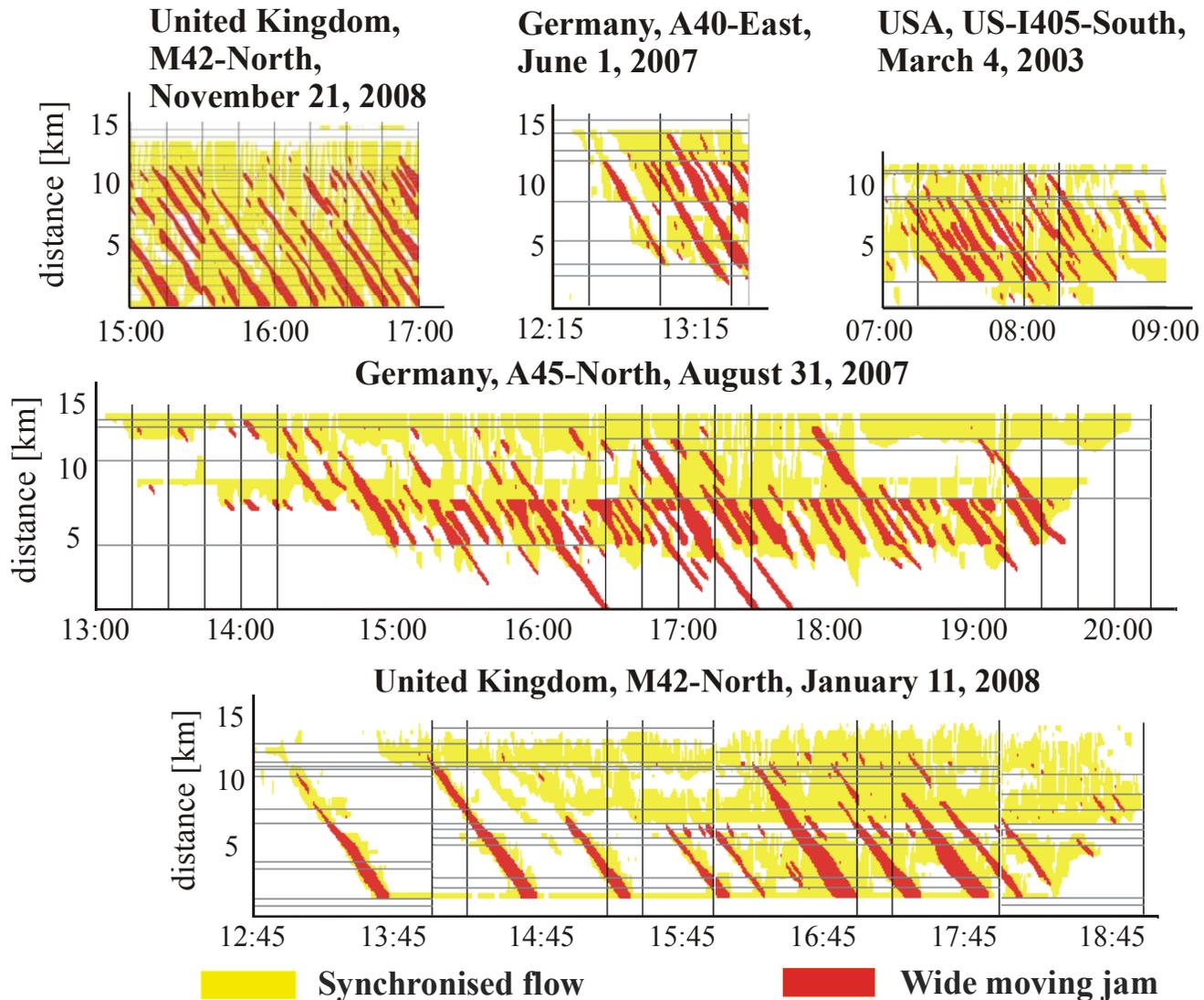
<sup>a</sup> Daimler AG, RD/RTF, HPC: 050-G021, D-71059 Sindelfingen, Germany

<sup>b</sup> TomTom, TomTom Content Production Unit Berlin, An den Treptowers 1, D-12435 Berlin, Germany

<sup>c</sup> Moscow Institute of Physics and Technology, Department of Physics, 141700 Dolgoprudny, Moscow Region, Russia

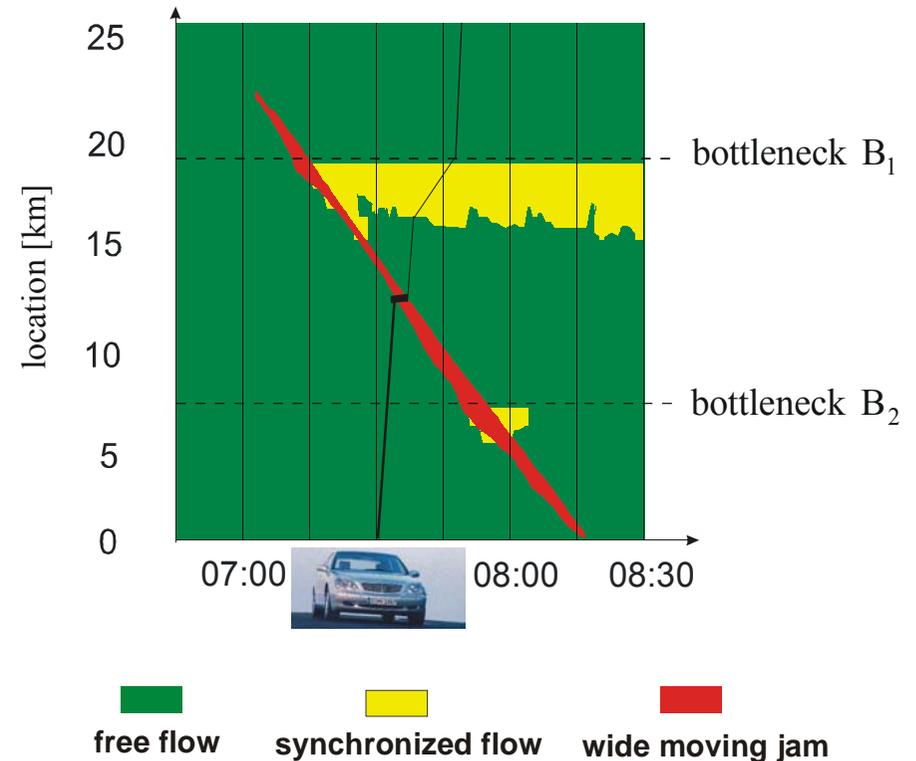
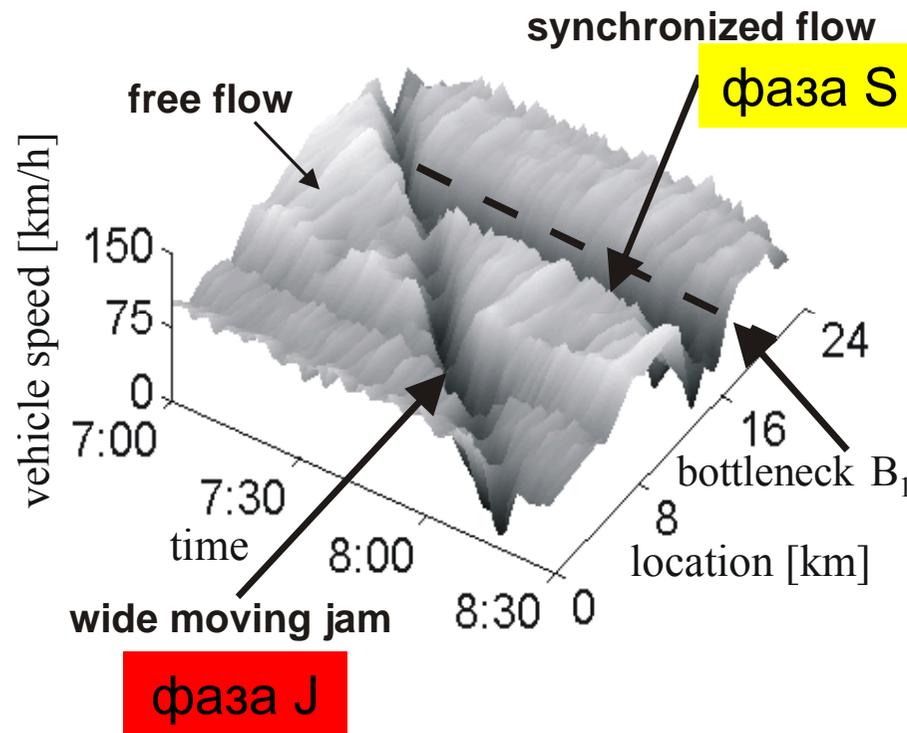
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378437112007613>

# Примеры эмпирических пространственно-временных структур в транспортном потоке на скоростных автомагистралях в разных странах мира



# Определения фаз транспортного потока J и S в теории трех фаз Кернера

Макроскопические эмпирические (объективные) критерии для определения фаз J и S плотного потока



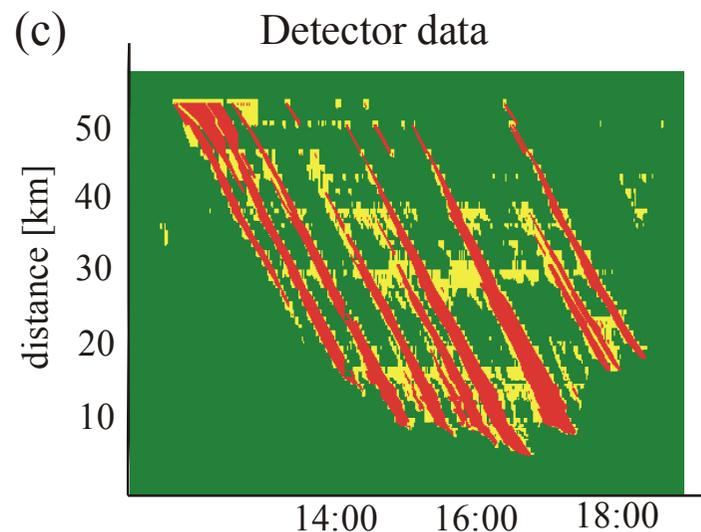
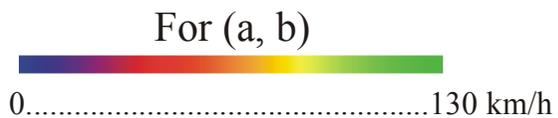
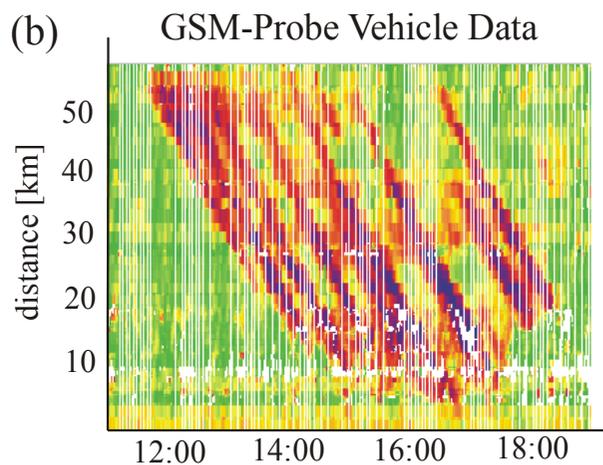
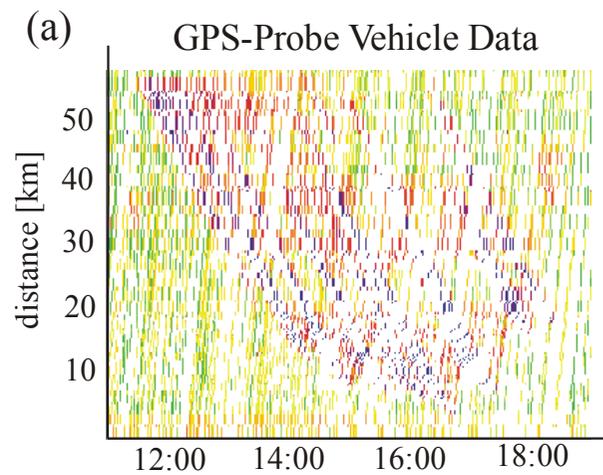
# Методология исследований

1. **Используется данные 1996-2010гг., измеренные стационарными детекторами на секции скоростной дороги А5 в Германии.**
2. **Выбирается один ряд репрезентативных данных из этой базы данных. Эти репрезентативные данные берутся из тех дней измерений, для которых имеются данные измерения, выполненные фирмой Том Том.**
3. **Том Том для этого репрезентативного дня имеет данные измерений, выполненными GPS приемниками пробных (т.е. передающих информацию) машин и мобильных телефонов.**
4. **На основе микроскопической модели в рамках теории трех фаз моделируется динамика транспортного потока, отвечающим репрезентативным измеренным данным.**
5. **В смоделированной пространственно-временной структуре выбирается малый процент машин, случайно распределенных в потоке, которые рассматриваются как пробные машины, моделирующие floating car data. Такой выбор пробных машин отвечает данным Том Том (пункт 3).**
6. **Точки фазовых переходов (между фазами F, S и J) определяются вдоль траекторий пробных машин. Эта процедура делается как при моделировании траекторий пробных машин (пункт 5), так и для реальных машин, относящиеся к тем же самым репрезентативным данным фирмы Том Том .**
7. **Предупреждения о заторах генерируются с помощью идентификации фаз вдоль траекторий машин как для смоделированных данных, так и для эмпирических данных фирмы Том Том.**
8. **Осуществляется реконструкция пространственно-временных областей фаз F, S и J из эмпирических данных Том Том.**

# Эмпирические данные фирмы Том-Том и данные со стационарных детекторов (метод ASDA-ФОТО)

## Пример 1

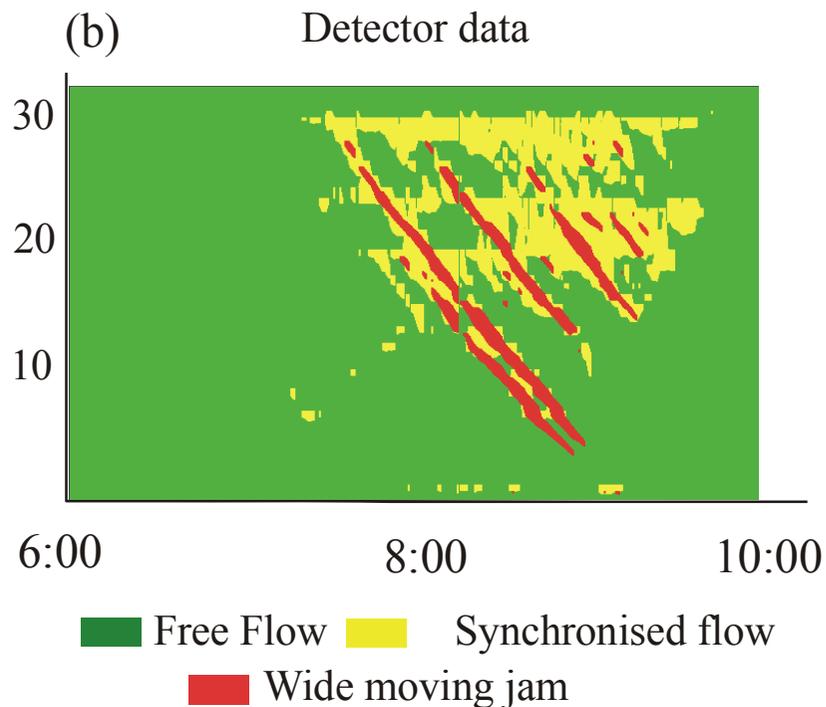
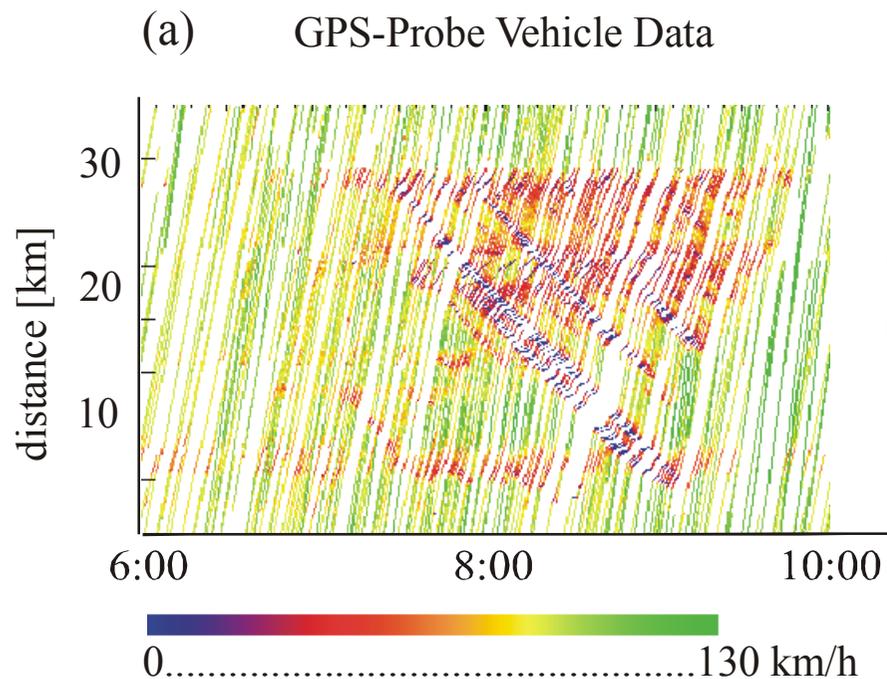
A5-North, May 12, 2010, Germany



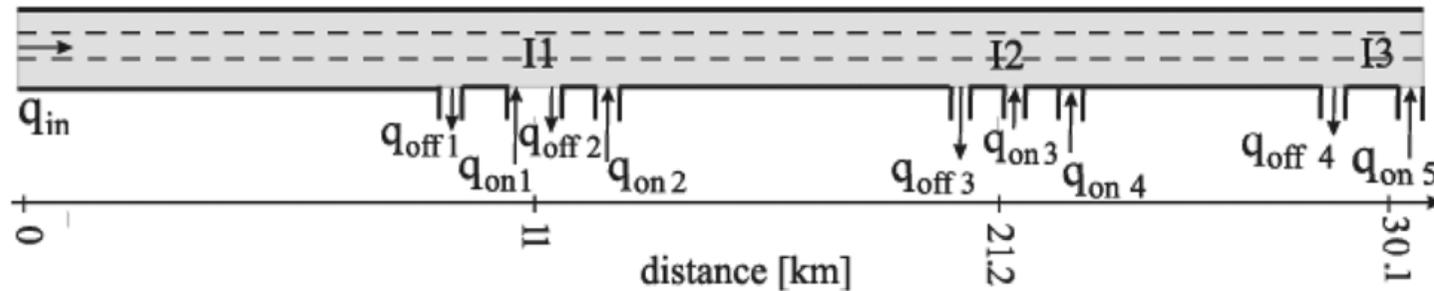
# Эмпирические данные фирмы Том-Том и данные со стационарных детекторов (метод ASDA-ФОТО)

## Пример 2

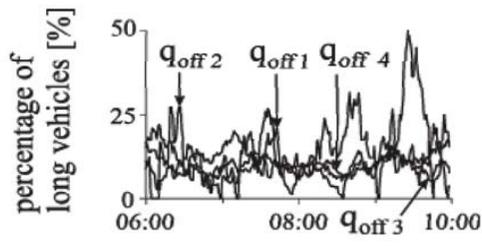
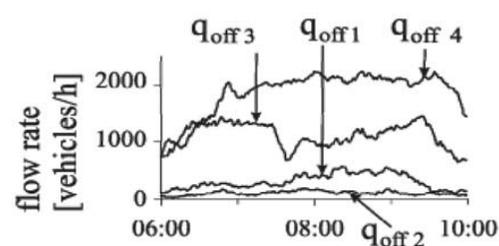
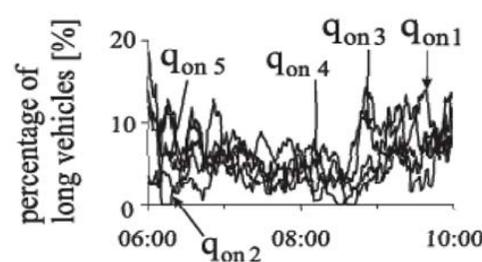
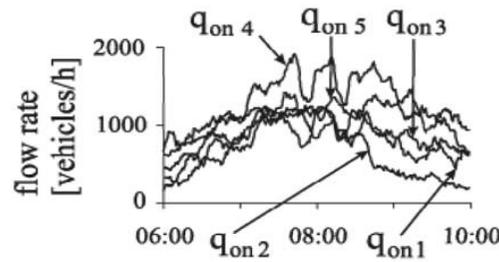
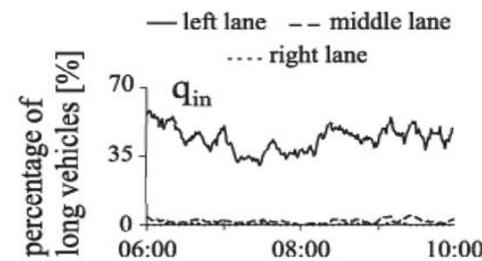
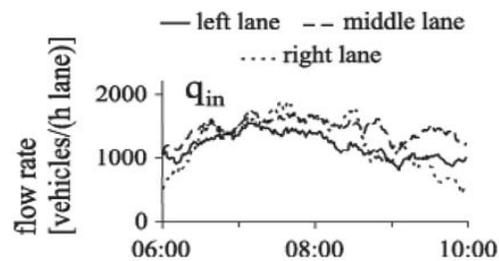
A5-South, December 10, 2009, Germany



# Схема секции 3-полосной дороги A5-South в Германии и эмпирические данные с детекторов входных и выходных потоков, используемые для моделирования примера 2



I1: Friedberg  
 I2: Bad Homburger Kruez  
 I3: Nordwestkreuz



# Модель в рамках теории трех фаз используемая для моделирования транспортного потока

Правила движения машины на одной полосе:

$$v_{n+1} = \max(0, \min(v_{\text{free}}, \tilde{v}_{n+1} + \xi_n, v_n + a\tau, v_{s,n})), \quad x_{n+1} = x_n + v_{n+1}\tau,$$

$$\tilde{v}_{n+1} = \max(0, \min(v_{\text{free}}, v_{s,n}, v_{c,n})),$$

$$v_{c,n} = \begin{cases} v_n + \Delta_n & \text{for } g_n \leq G_n \\ v_n + a_n \tau & \text{for } g_n > G_n \end{cases},$$

$$\Delta_n = \max(-b_n \tau, \min(a_n \tau, v_{\ell,n} - v_n)),$$

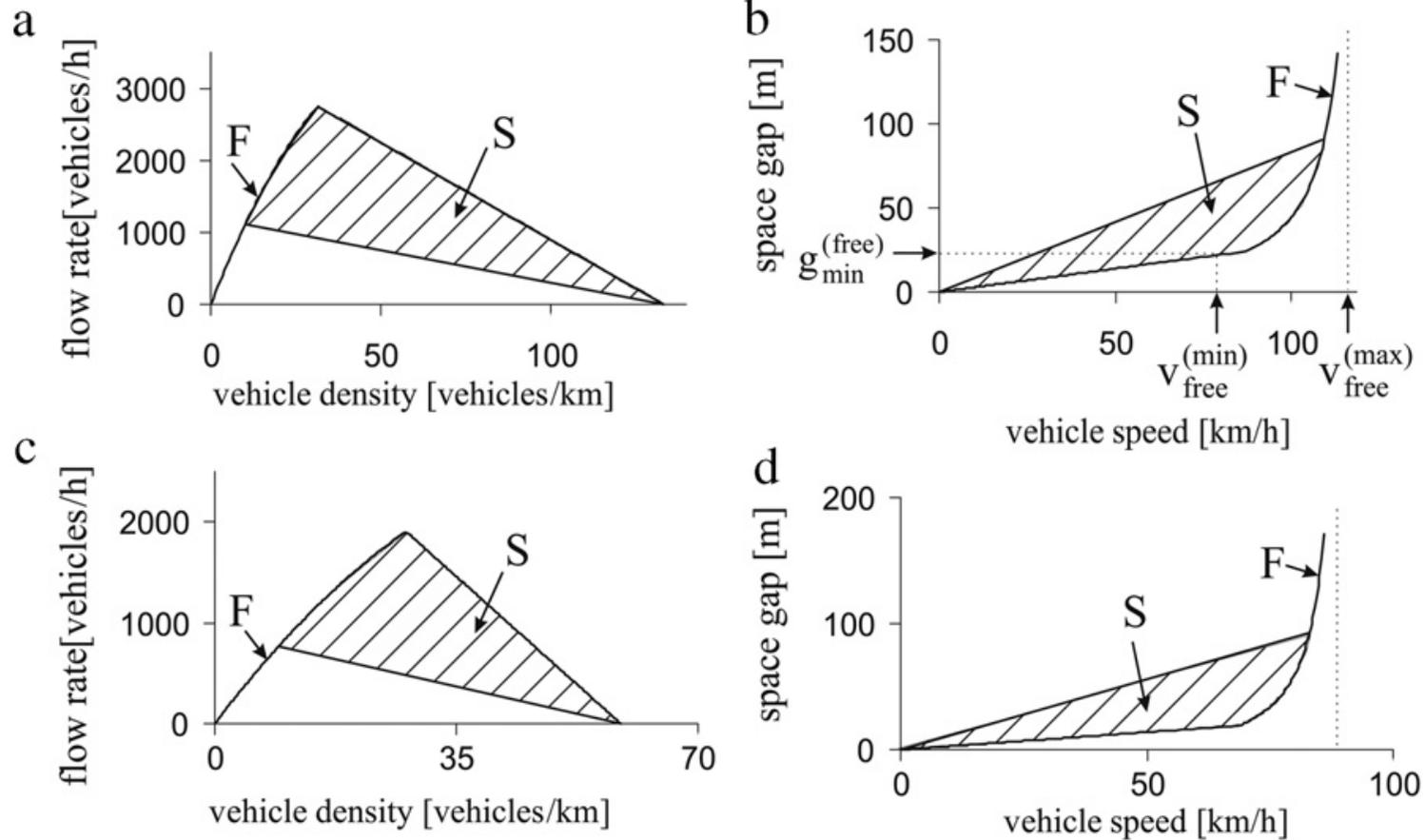
$$G_n = G(v_n, v_{\ell,n}),$$

# Модель в рамках теории трех фаз используемая для моделирования транспортного потока.

## Состояния равновесия

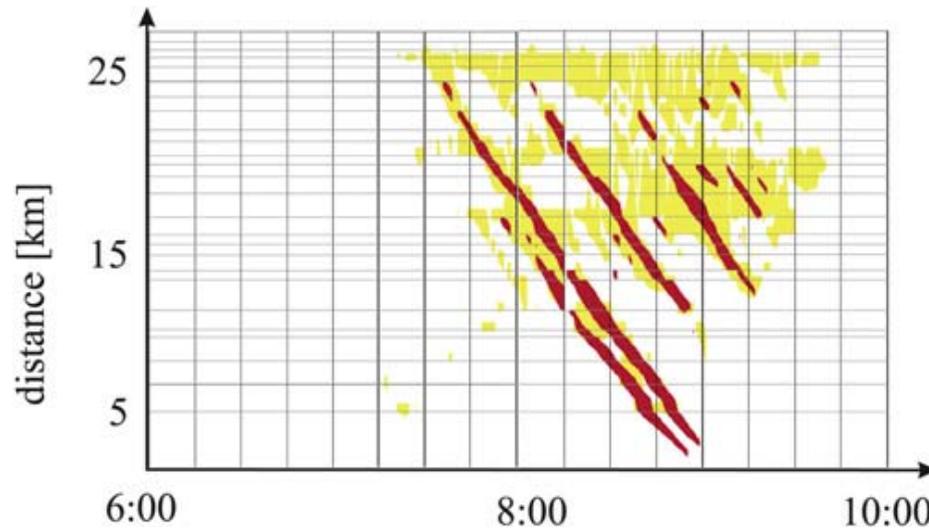
Пространственно однородные состояния равновесия модели:

(a), (b) - для легковых машин, (c), (d) - для грузовых машин

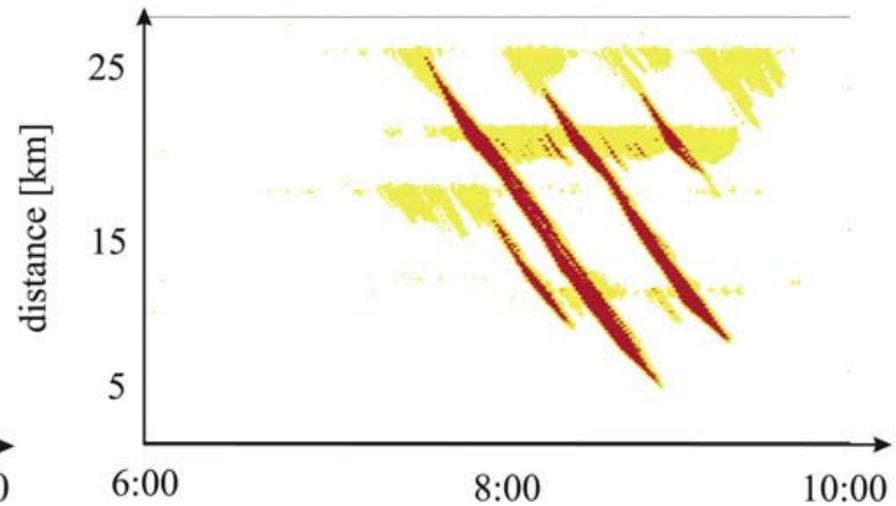


# Сравнение эмпирической и смоделированной структур транспортного потока

Данные детекторов обработанные методом ASDA-FOTO



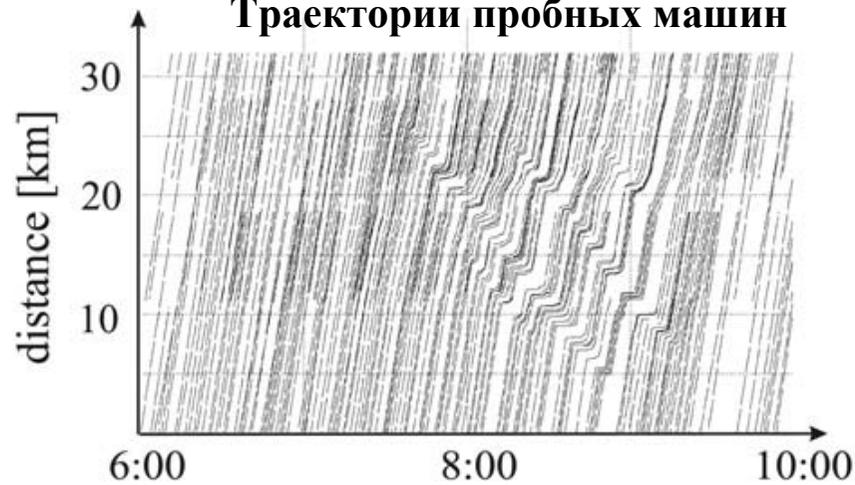
Результаты моделирования на основе микроскопической трехфазной модели транспортного потока



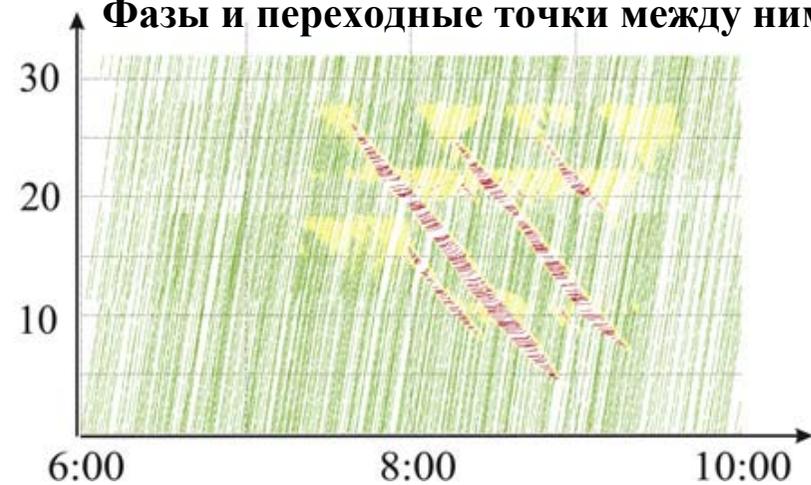
# Расчет траекторий пробных машин случайно распределенных в транспортном потоке

процент пробных машин  $\eta=2\%$

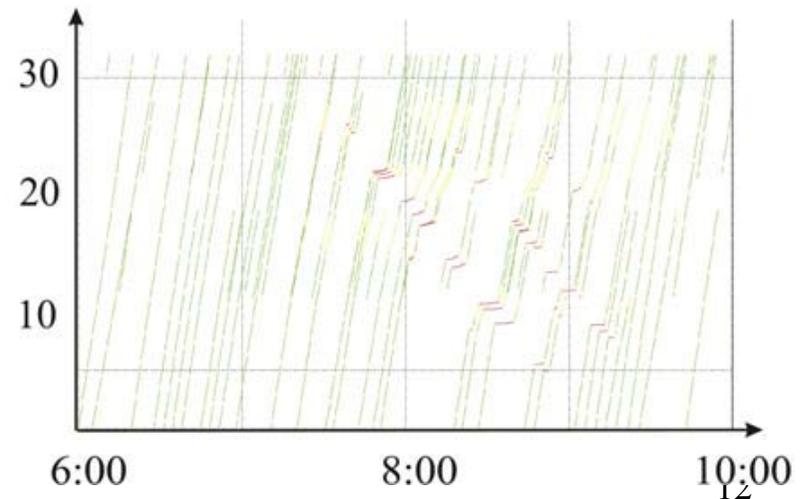
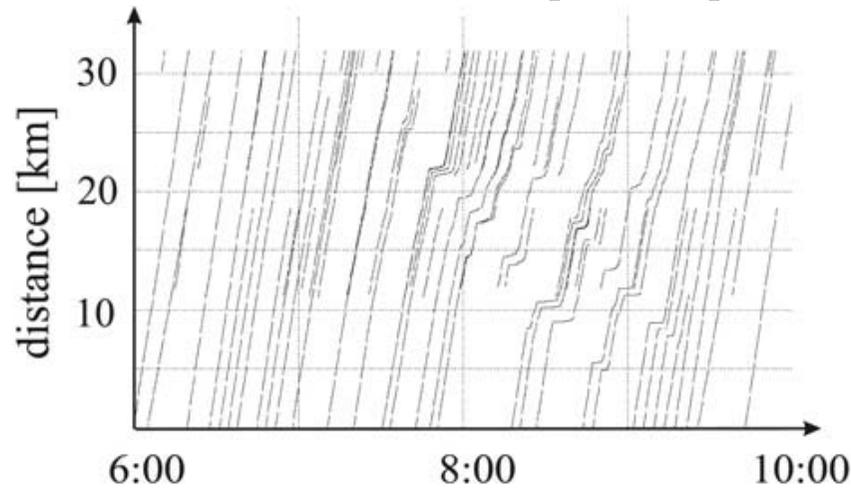
**Траектории пробных машин**



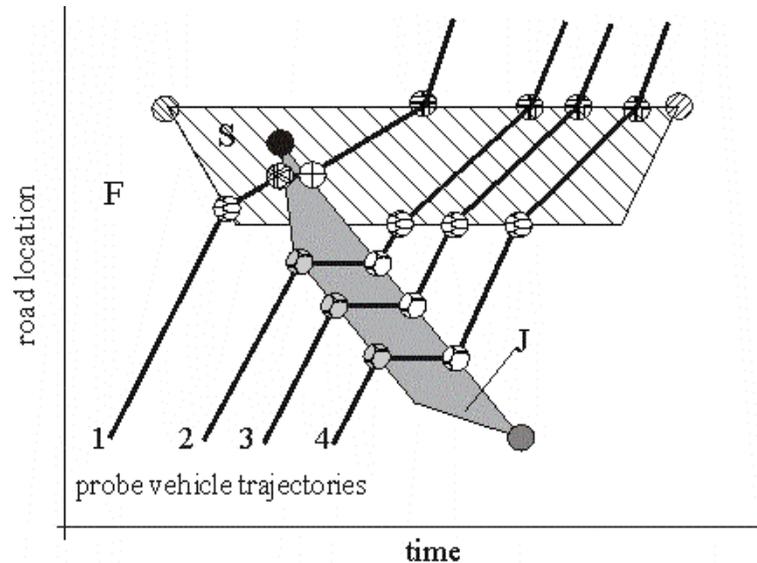
**Фазы и переходные точки между ними**



процент пробных машин  $\eta=0.5\%$



# Метод определения точек перехода между тремя фазами на основе данных о траекториях пробных машин



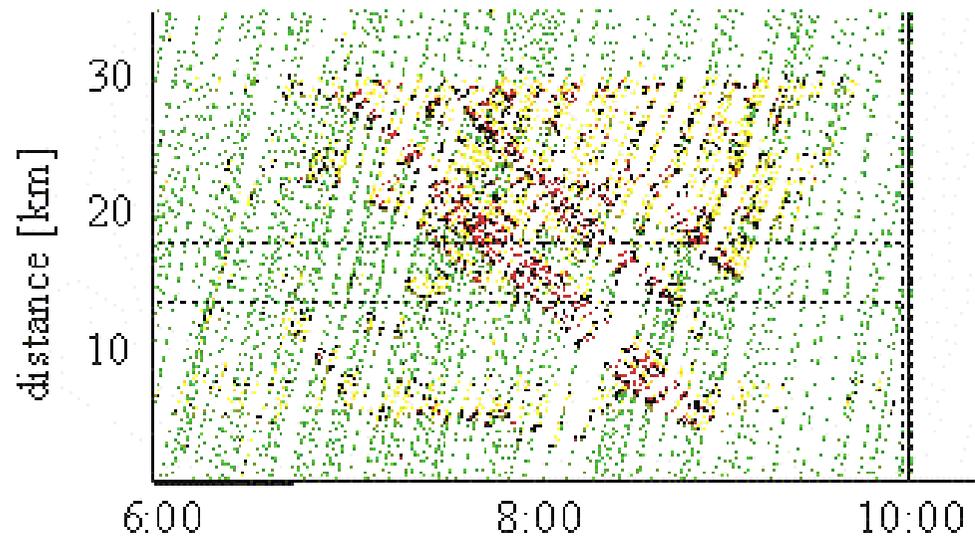
- F - free flow    S - synchronized flow    J - wide moving jam
- ⊗ F → S transition    ⊕ J<sub>S</sub> transition    ⊙ F<sub>J</sub> transition
  - S → J transition    ⊕ S<sub>F</sub> transition    ⊙ J<sub>F</sub> transition
  - J → F transition    ⊕ E<sub>S</sub> transition
  - ⊗ S → F transition    ⊕ S<sub>J</sub> transition

Условия для точек перехода между фазами вдоль траектории автомобиля

Phase transition points	Conditions for speed	Conditions for time interval
F <sub>S</sub>	$v < v_{FS}$	$T > T_{FS}$
F <sub>J</sub>	$v < v_{FJ}$	$T > T_{FJ}$
S <sub>F</sub>	$v > v_{SF}$	$T > T_{SF}$
S <sub>J</sub>	$v < v_{SJ}$	$T > T_{SJ}$
J <sub>F</sub>	$v > v_{JF}$	$T > T_{JF}$
J <sub>S</sub>	$v > v_{JS}$	$T > T_{JS}$

# Результаты применения метода определения точек перехода между фазами для эмпирических данных о траекториях пробных машин

Точки перехода между фазами в эмпирических данных примера 2

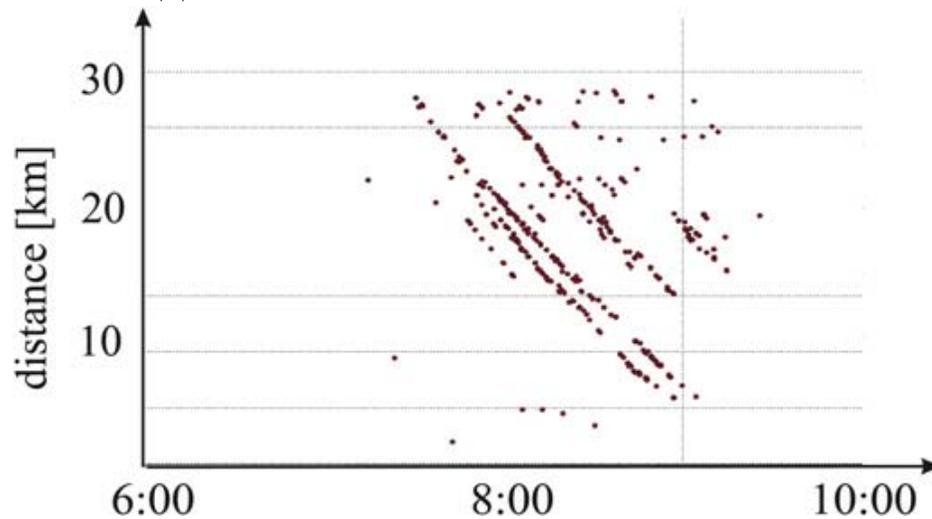


Параметры для нахождения точек перехода между фазами вдоль траектории автомобиля

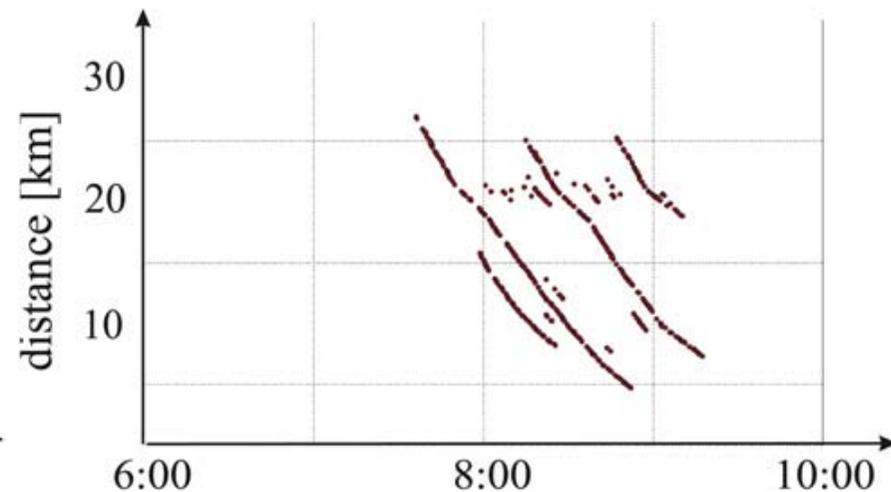
Threshold speeds	Values (km/h)	Threshold time intervals	Values (s)
$v_{FS}$	60	$T_{FS}$	15
$v_{FJ}$	15	$T_{FJ}$	25
$v_{SF}$	65	$T_{SF}$	10
$v_{SJ}$	10	$T_{SJ}$	25
$v_{JF}$	60	$T_{JF}$	10
$v_{JS}$	20	$T_{JS}$	20

# Определение положения переднего по потоку фронта широких движущихся кластеров Генерация предупреждения о заторе

Реконструкция на основе эмпирических данных

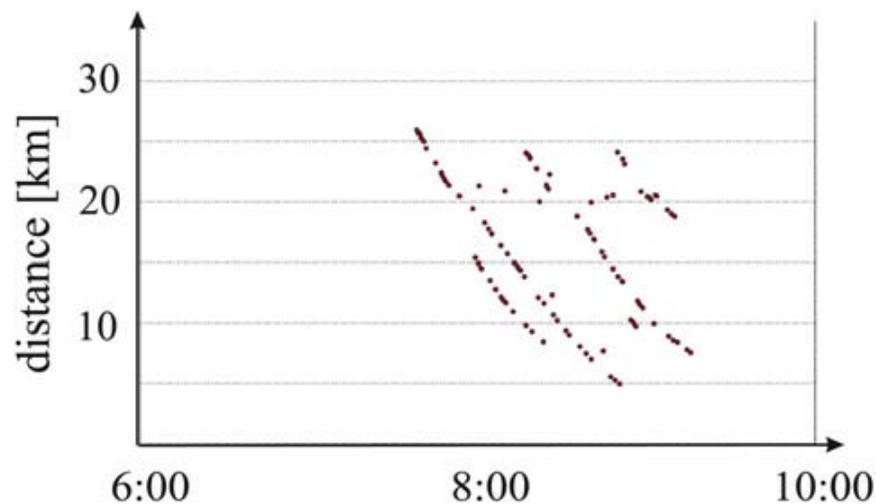


Реконструкция на основе данных моделирования при проценте пробных машин  $\eta=2\%$

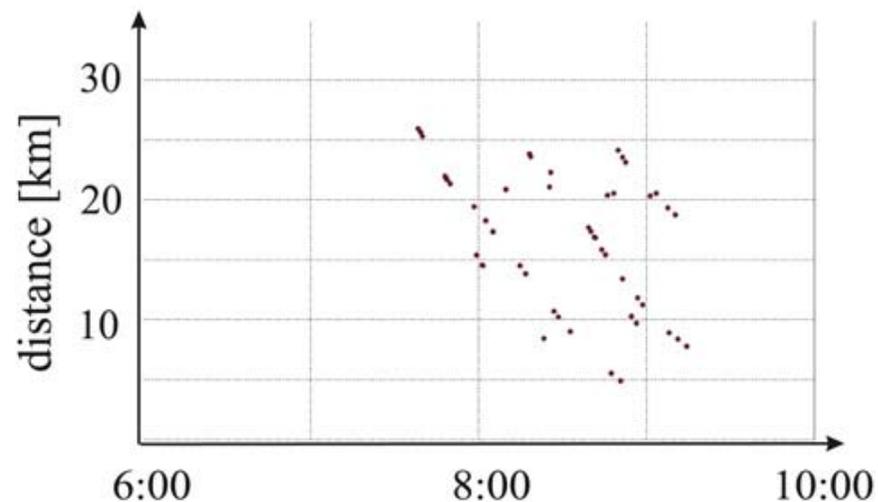


# Определение положения переднего по потоку фронта широких движущихся кластеров при уменьшении процента пробных машин

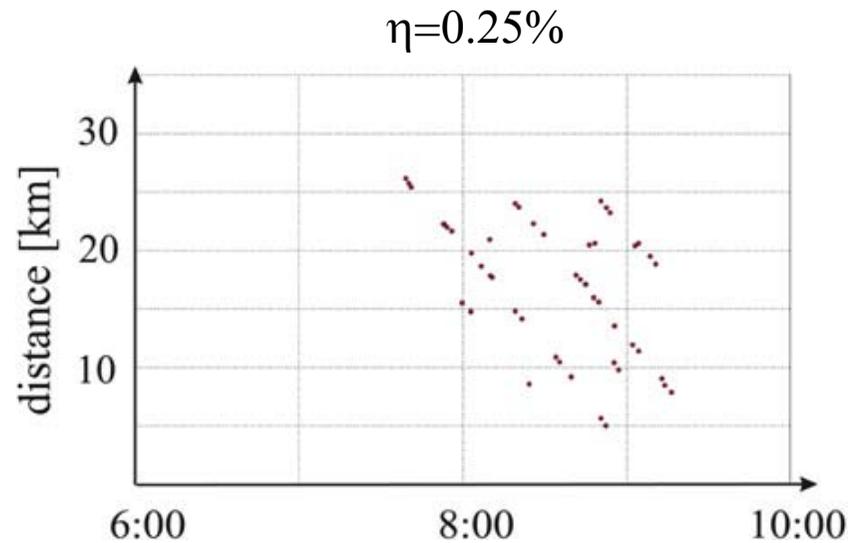
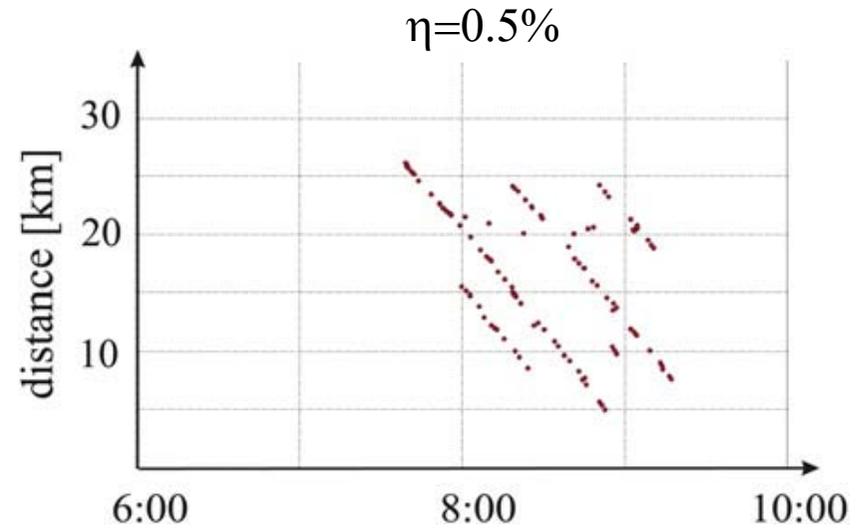
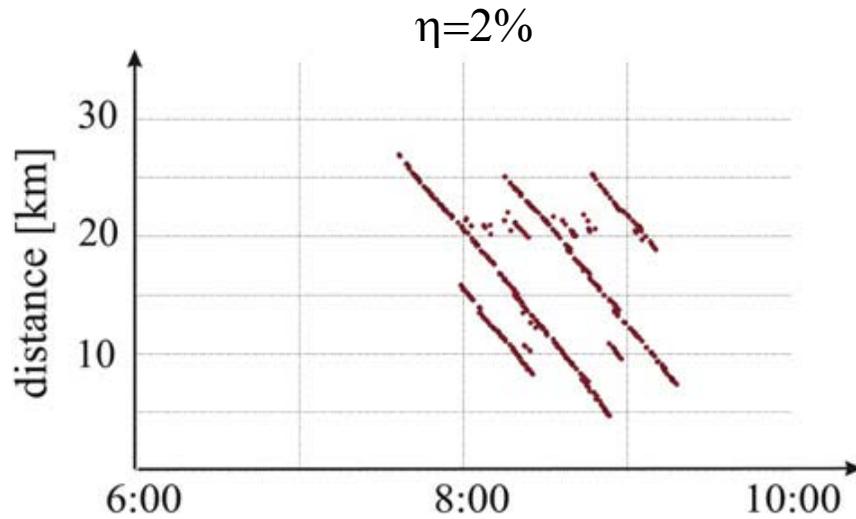
Реконструкция на основе данных моделирования при  $\eta=0.5\%$



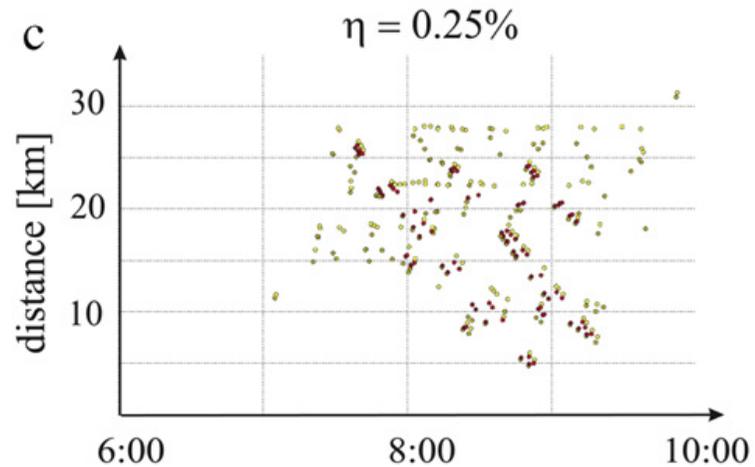
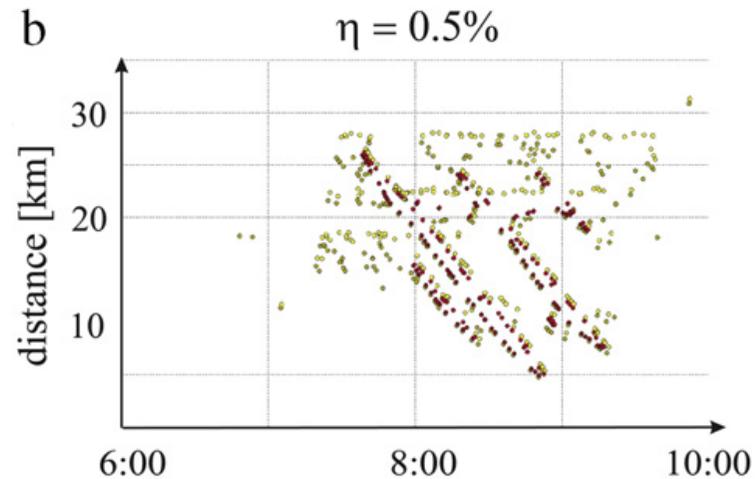
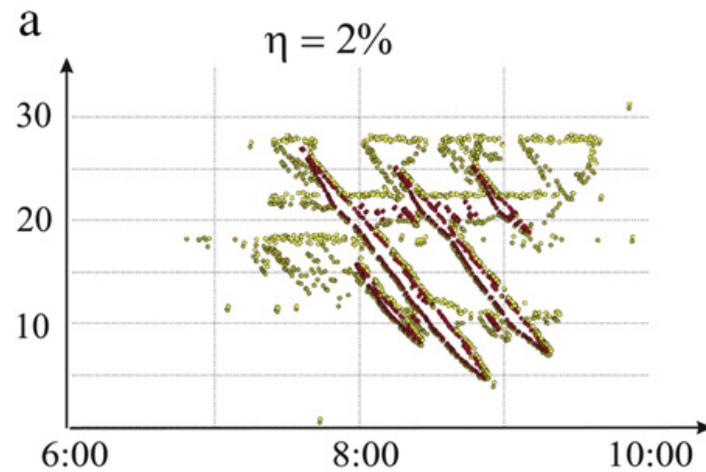
Реконструкция на основе данных моделирования при  $\eta=0.25\%$



# Определение положения заднего по потоку фронта широких движущихся кластеров на основе траекторий пробных машин в модели транспортного потока

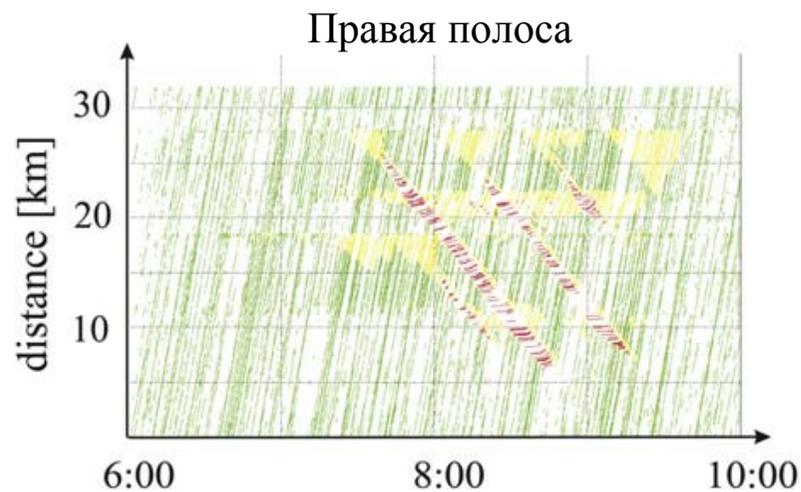
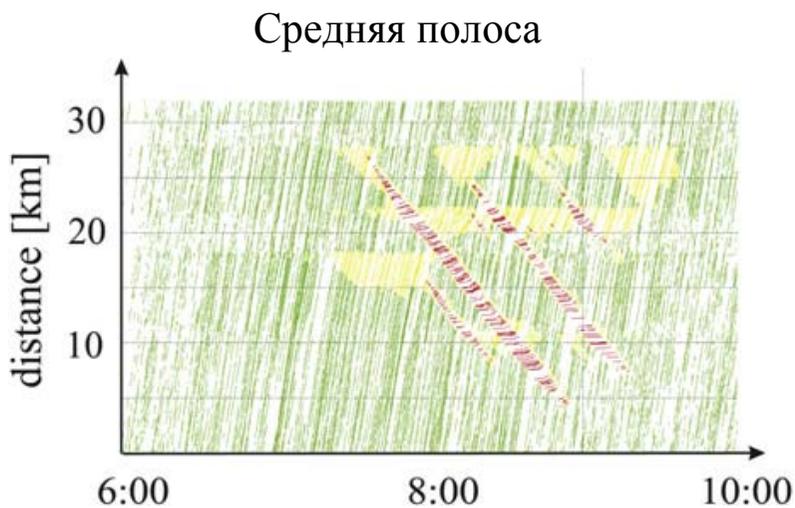
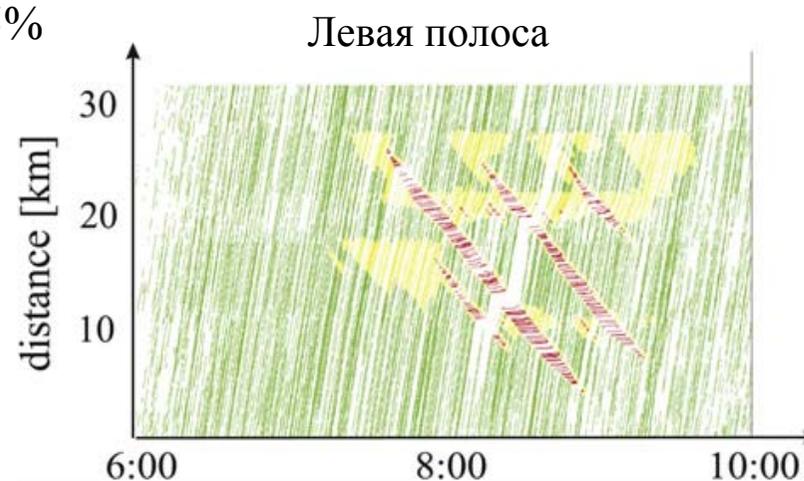
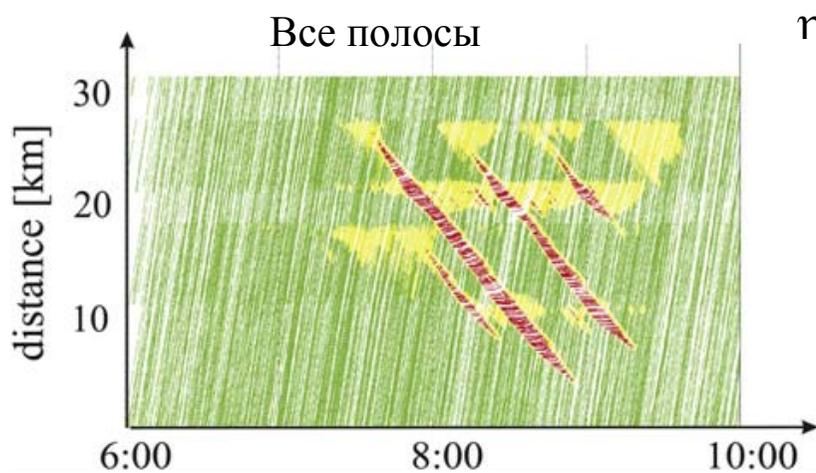


# Результаты применения метода определения точек перехода между тремя фазами на основе траекторий пробных машин в модели транспортного потока



- Upstream Front J
- Downstream Front J
- Upstream Front S
- Downstream Front S

# Реконструкция трех фаз из траекторий пробных машин в модели транспортного потока на различных полосах



## Выводы

- 1. С помощью моделирования найдено, что данные уже 2% пробных машин позволяют осуществить реконструкцию пространственно-временной динамики транспортного потока с точностью, достаточной для многих приложений, в частности, для генерации предупреждения о заторах.**
- 2. Микроскопическая модель на основе теории трех фаз позволяет с высокой точностью воспроизводить фазовые переходы в транспортных потоках и результирующие пространственно-временные структуры.**
- 3. Методы определения фазовых переходов вдоль траекторий пробных машин позволяют осуществлять высокоточный прогноз распространения пробок в транспортном потоке, а также воспроизводить всю пространственно-временную структуру транспортного потока на скоростных автодорогах.**
- 4. Огромное количество эмпирических данных измеренных как стационарными детекторами в течении последних 20 лет в Германии и в течении последних 10 лет в Англии и других странах Европы и США, а также эмпирические данные, полученные от пробных машин (Том Том данные), однозначно подтверждают теорию трех фаз Кернера.**