

自発的対称性のやぶれ 1/2

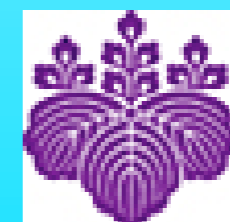
—物質科学から素粒子宇宙物理学まで—

教養の新たな世界を体験する

筑波大学大学院数理物質科学研究科教授

物理学系

初貝 安弘



筑波大学
University of Tsukuba



The Nobel Prize in Physics 2008

"for the discovery of the mechanism of spontaneous broken symmetry in subatomic physics"

"for the discovery of the origin of the broken symmetry which predicts the existence of at least three families of quarks in nature"



Photo: University of Chicago

Yoichiro Nambu



© The Nobel Foundation Photo: U. Montan

Makoto Kobayashi



© The Nobel Foundation Photo: U. Montan

Toshihide Maskawa



The Nobel Prize in Physics 2008

"for the discovery of the mechanism of spontaneous broken symmetry in subatomic physics"

"for the discovery of the origin of the broken symmetry which predicts the existence of at least three families of quarks in nature"



Photo: University of Chicago

Yoichiro Nambu



© The Nobel Foundation Photo: U. Montan

Makoto Kobayashi



© The Nobel Foundation Photo: U. Montan

Toshihide Maskawa

Spontaneous Broken Symmetry

NOBEL PRIZES | ALFRED NOBEL | PRIZE AWARDERS | NOMINATION | PRIZE ANNOUNCEMENTS
By Year | **Nobel Prize in Physics** | Nobel Prize in Chemistry | Nobel Prize in Medicine | Nobel Prize in Literature



The Nobel Prize in Physics 2008

"for the discovery of the mechanism of spontaneous broken symmetry in subatomic physics"

"for the discovery of the origin of the broken symmetry which predicts the existence of at least three families of quarks in nature"



Photo: University of Chicago

Yoichiro Nambu



© The Nobel Foundation Photo: U. Montan

Makoto Kobayashi



© The Nobel Foundation Photo: U. Montan

Toshihide Maskawa

本日(前半) の講義

- ★ 物理学とはなにか
 - ★ 物理学の大切にしているもの
 - ★ 自然科学としての物理学
- ★ 物理学における対称性
 - ★ 対称性とはなにか
 - ★ 対称性の”大きさ”。そして破れ
- ★ 物質の相と対称性の破れ
 - ★ 情報化社会と物質の相
 - ★ 対称性の破れと秩序変数
- ★ 自発的対称性の破れ
 - ★ 磁気秩序と磁性体
 - ★ *Nambu-Goldston Boson*

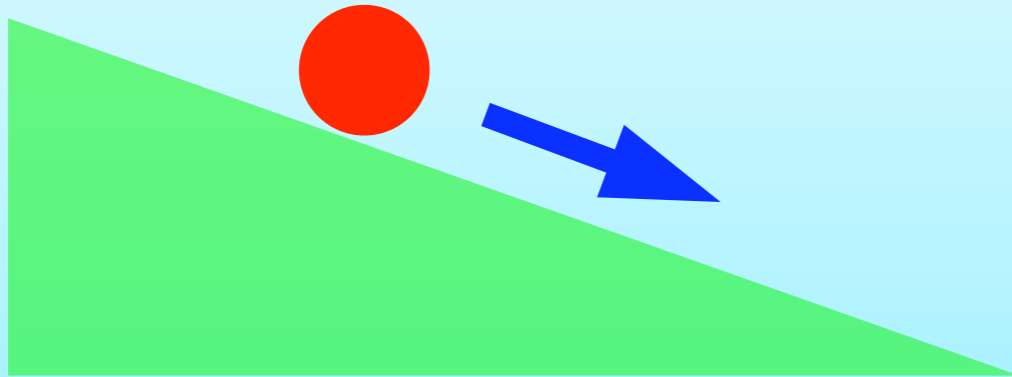
物理学とは

★ 物理学とはなにか

物理学とは

★ 物理学とはなにか

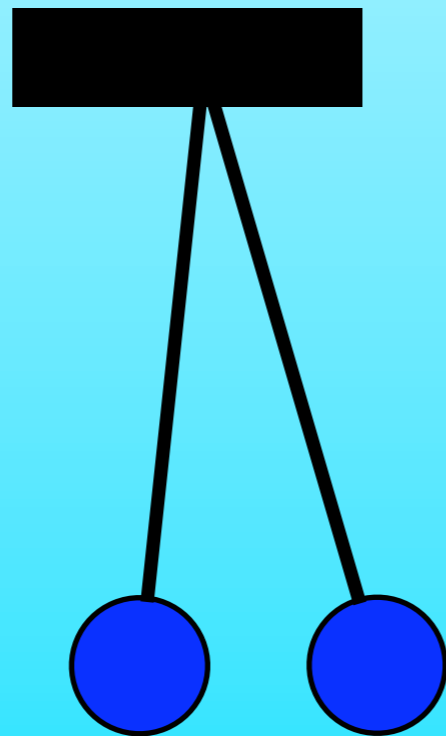
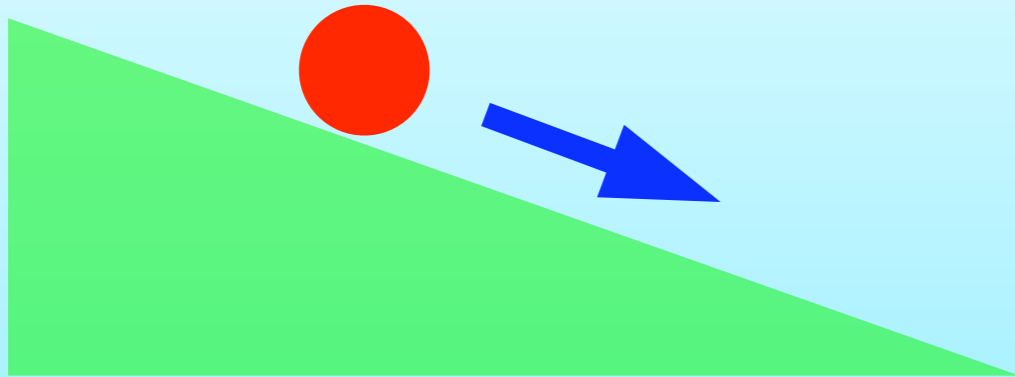
$$F = mg \sin \theta$$



物理学とは

★ 物理学とはなにか

$$F = mg \sin \theta$$

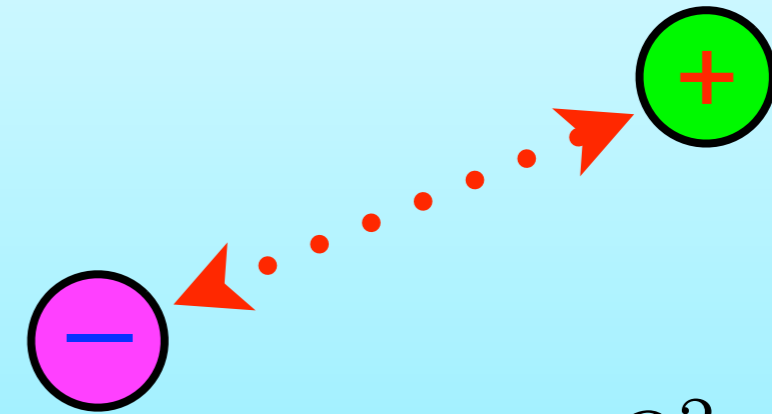
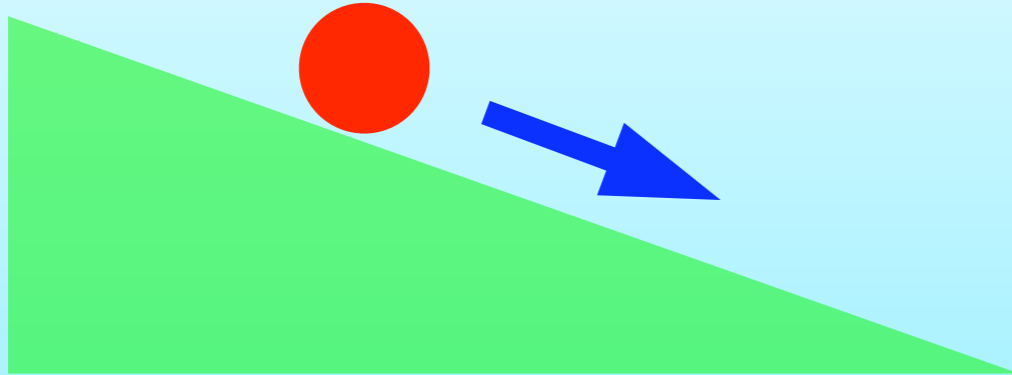


$$\ddot{\theta} = -\omega^2 \theta$$

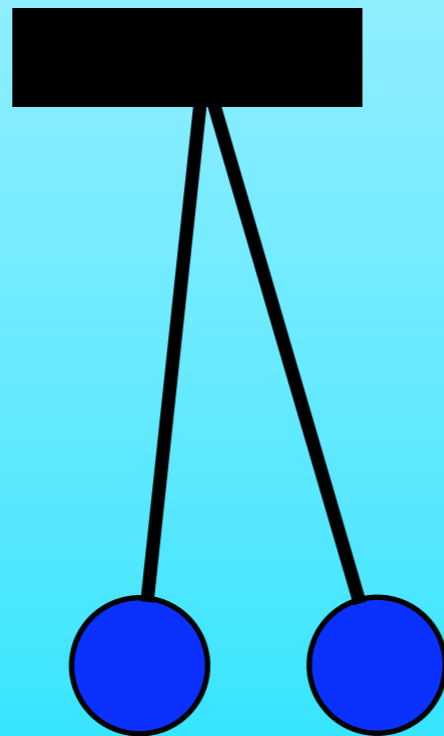
物理学とは

★ 物理学とはなにか

$$F = mg \sin \theta$$



$$F = k \frac{Q^2}{r^2}$$



$$\ddot{\theta} = -\omega^2 \theta$$

物理学とは

★ 物理学とはなにか

物理学とは

★ 物理学とはなにか



$$F = ma$$

物理学とは

★ 物理学とはなにか



ガリレオ・ガリレイ

Wikipedia



$$F = ma$$

$$y = \frac{1}{2}gt^2$$

$$g = 9.8[\text{m/s}^2]$$

物理学とは

★ 物理学とはなにか



ガリレオ・ガリレイ

Wikipedia



$$F = ma$$

$$y = \frac{1}{2}gt^2$$

$$g = 9.8[\text{m/s}^2]$$

物理学とは

★ 物理学とはなにか

物理学とは

★ 物理学とはなにか

素粒子



物理学とは

★ 物理学とはなにか



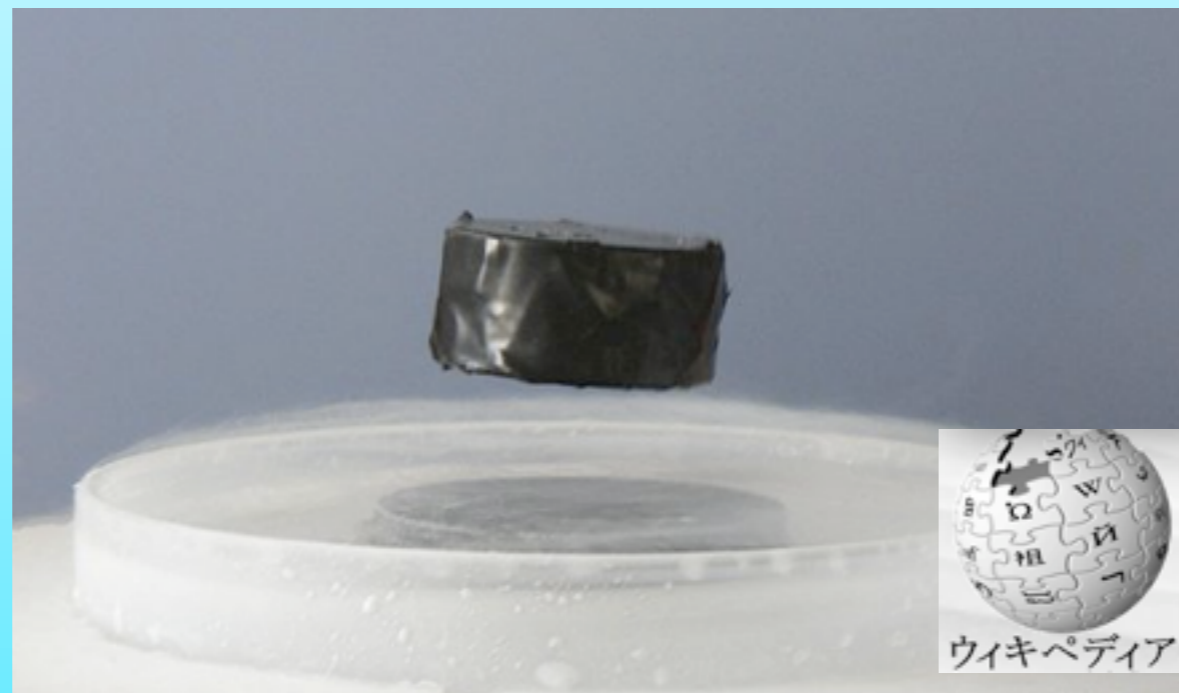
<http://www.wallpaperlink.com>

宇宙

物理学とは

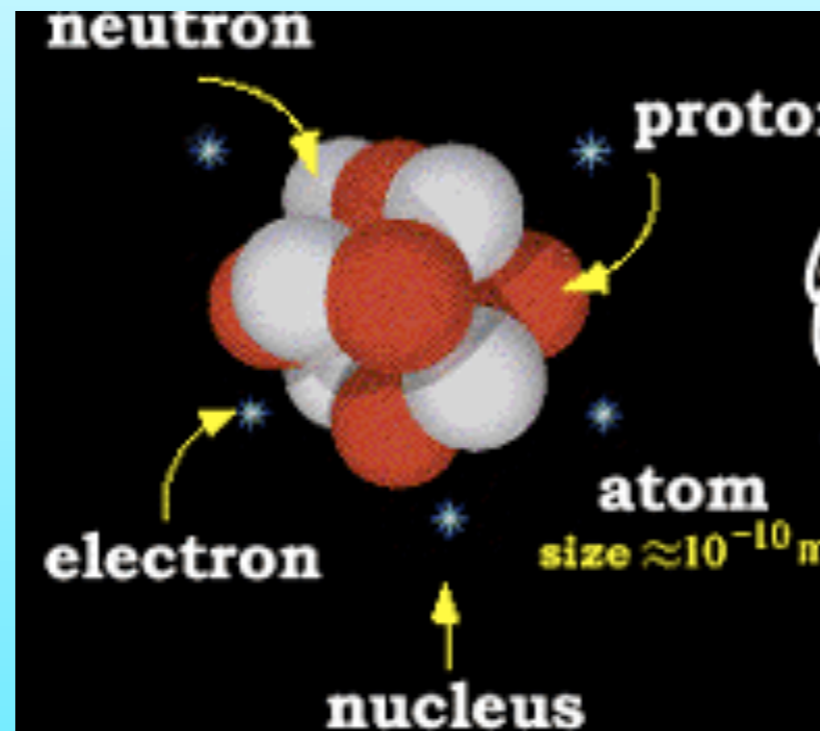
★ 物理学とはなにか

物性



物理学とは

★ 物理学とはなにか



<http://www.kek.jp/kids/class/nucleus/index.html>

原子核

物理学とは

★ 物理学とはなにか



<http://www.naka.jaea.go.jp/ITER/>

プラズマ

物理学とは

★ 物理学とはなにか

素粒子

物性

原子核

プラズマ

宇宙

物理学とは

★ 物理学とはなにか

素粒子

物性

物理学
Physics

原子核

プラズマ

宇宙

物理学とは

★ 物理学とはなにか

素粒子

物性

普遍性

Universality

原子核

プラズマ

宇宙

物理学とは

★ 物理学とはなにか

素粒子

物性

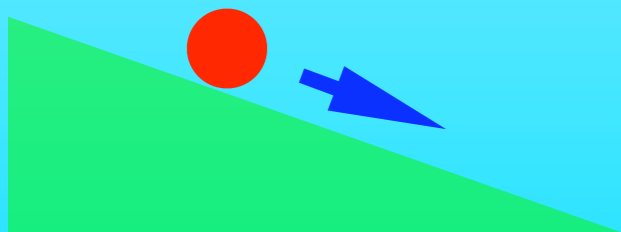
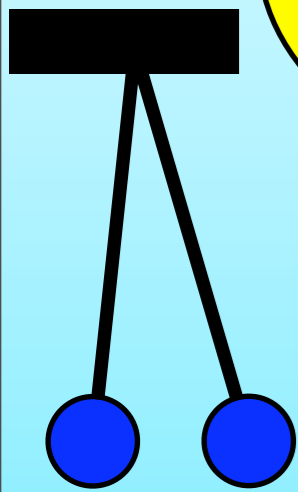
普遍性

Universality

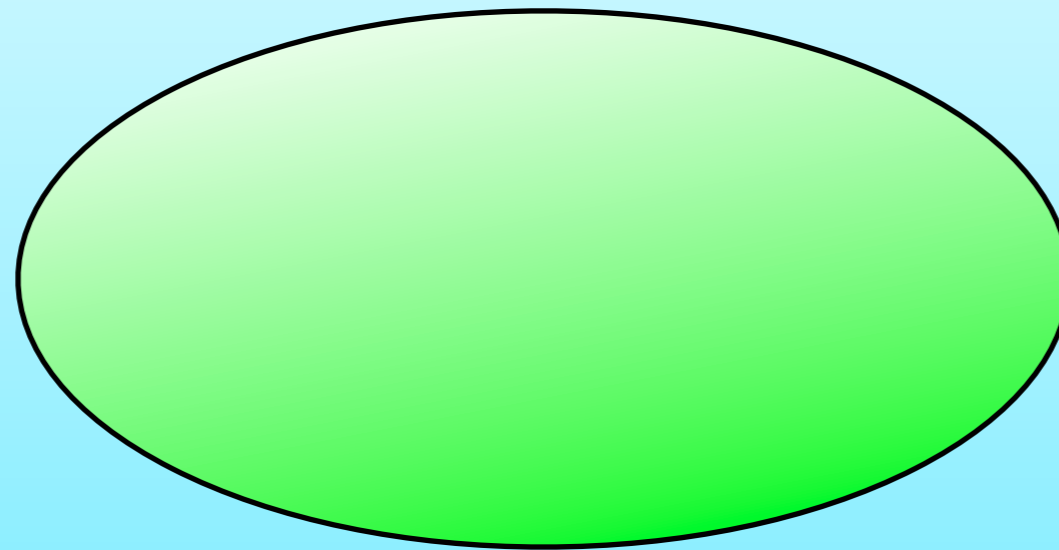
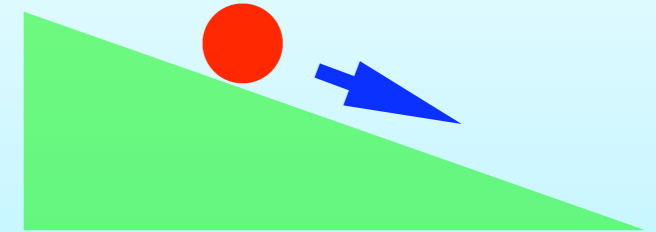
原子核

プラズマ

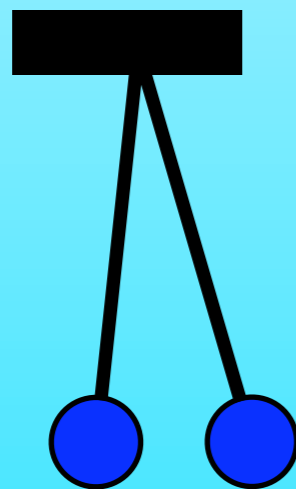
宇宙



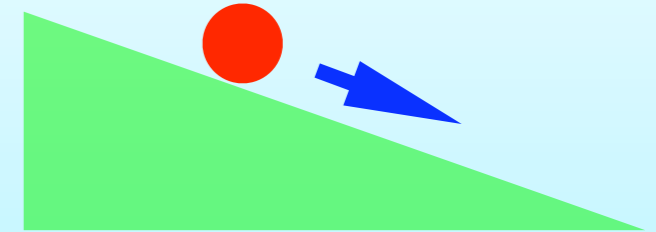
Universality (普遍性)とは？



<http://>



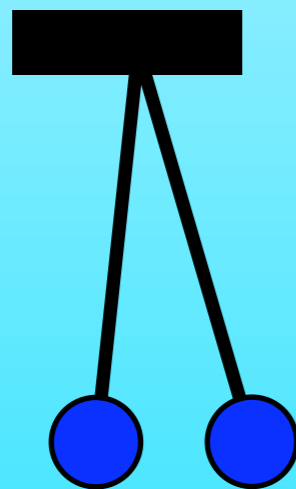
Universality (普遍性)とは？



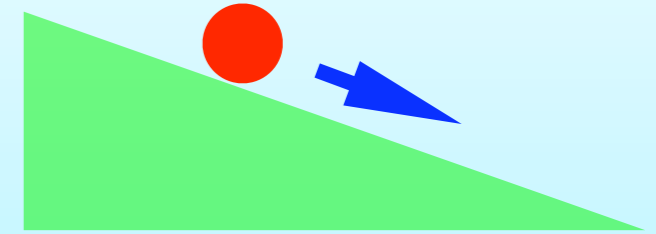
多様な現象



<http://>



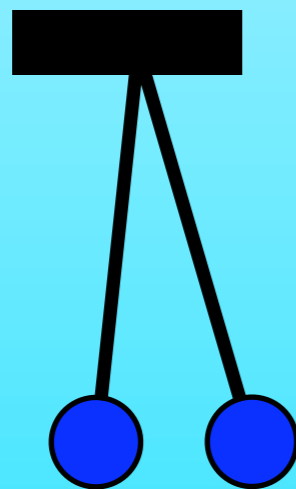
Universality (普遍性)とは？



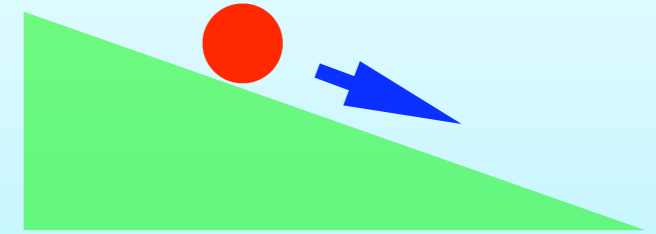
各論を超えた
統一的理解



<http://>



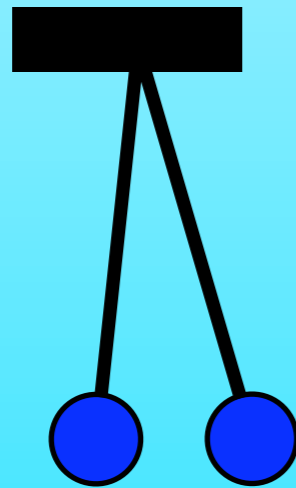
Universality (普遍性)とは？



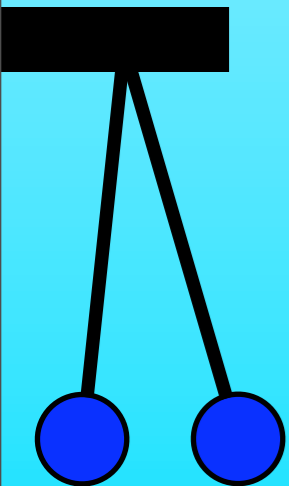
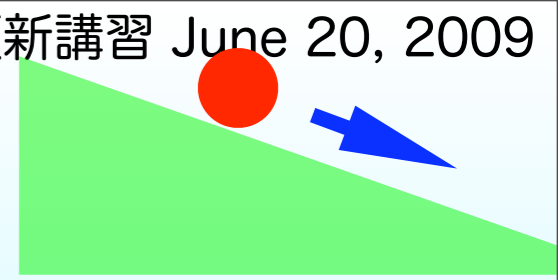
Universality



<http://>



Universality (普遍性)とは？

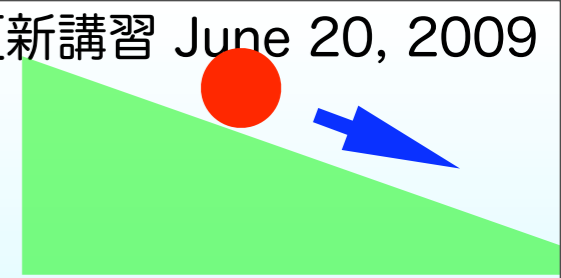


<http://>

Space Shuttle

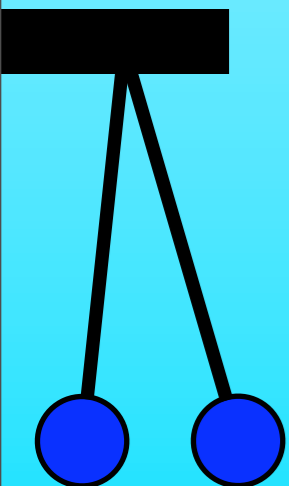


Universality (普遍性)とは？



質点の運動

として統一的に理解

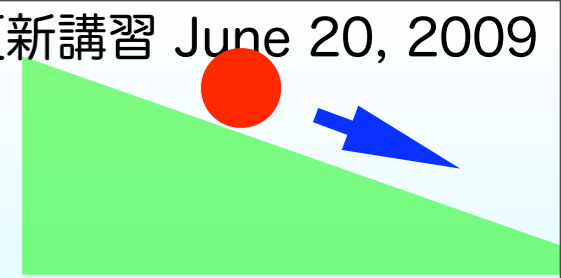


<http://>

Space Shuttle



Universality (普遍性)とは？

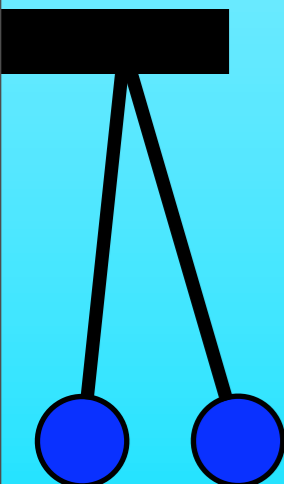


法則

質点の運動

として統一的に理解

$F = ma$: 押しただけスピードアップ

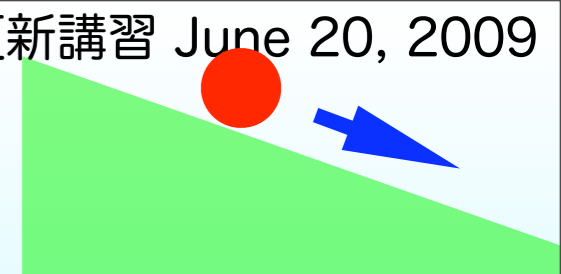


<http://>

Space Shuttle



Universality (普遍性)とは？



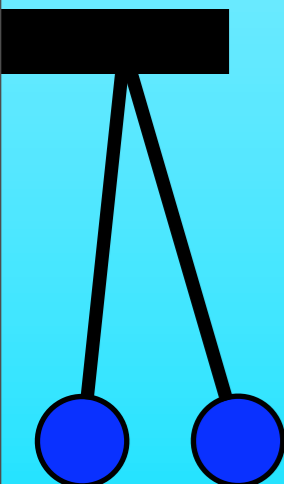
法則

質点の運動

として統一的に理解

$$F = ma : \text{押しただけスピードアップ}$$

質点：大きさの無い質量(m)のみを持つ点

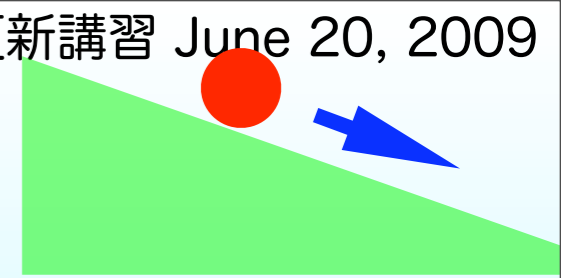


<http://>



Space Shuttle

Universality (普遍性)とは？



法則

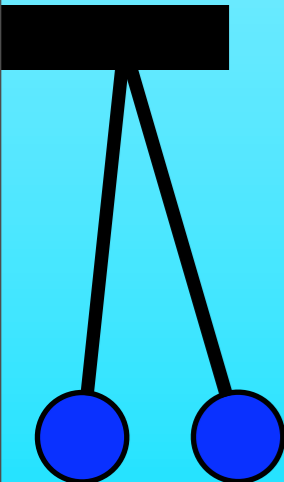
質点の運動

として統一的に理解

$$F = ma : \text{押しただけスピードアップ}$$

質点：大きさの無い質量(m)のみを持つ点

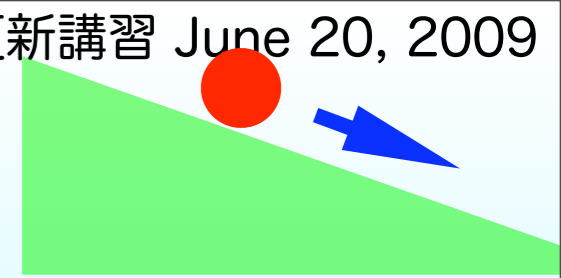
理想化



<http://>



Universality (普遍性)とは？



法則

質点の運動

として統一的に理解

$$F = ma : \text{押しただけスピードアップ}$$

質点：大きさの無い質量(m)のみを持つ点

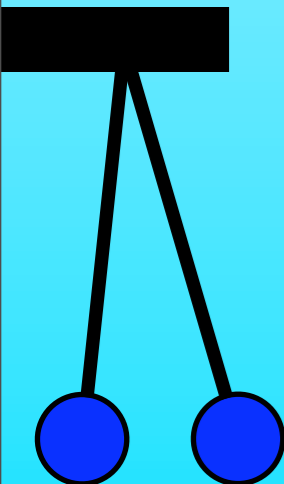
理想化

近似？

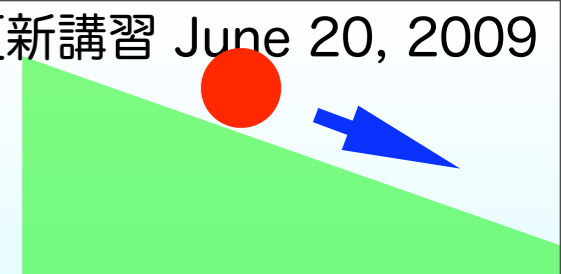


<http://>

Space Shuttle



Universality (普遍性)とは？



法則

質点の運動

として統一的に理解

$$F = ma : \text{押しただけスピードアップ}$$

質点：大きさの無い質量(m)のみを持つ点

理想化

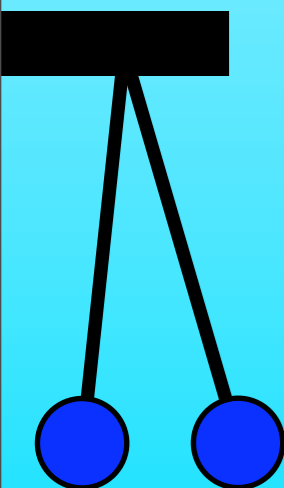
近似？

数学的厳密さを失った？



<http://>

Space Shuttle



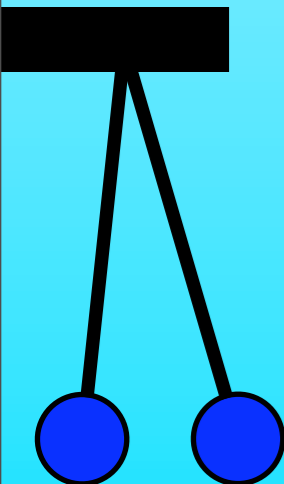
法則

Universality (普遍性)とは？

$F = ma$: 押しただけスピードアップ

理想化

質点：大きさの無い質量(m)のみを持つ点



<http://>

Space Shuttle



法則

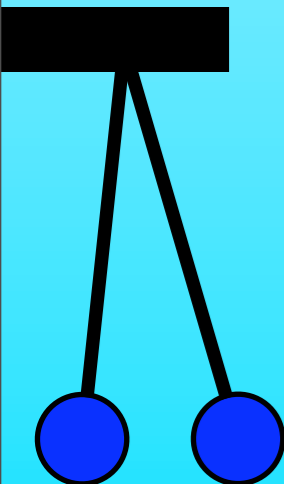
Universality (普遍性)とは？

$F = ma$: 押しただけスピードアップ

理想化

質点：大きさの無い質量(m)のみを持つ点

複雑な対象



<http://>

Space Shuttle



法則

Universality (普遍性)とは？

$F = ma$: 押しただけスピードアップ

理想化

質点：大きさの無い質量(m)のみを持つ点

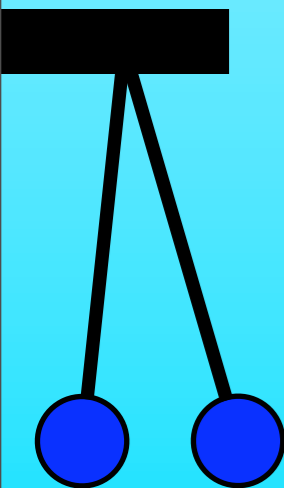
複雑な対象

情報の縮約



<http://>

Space Shuttle



法則

Universality (普遍性)とは？

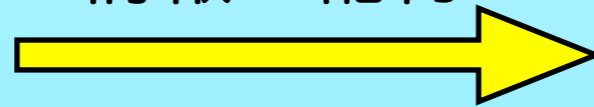
$F = ma$: 押しただけスピードアップ

理想化

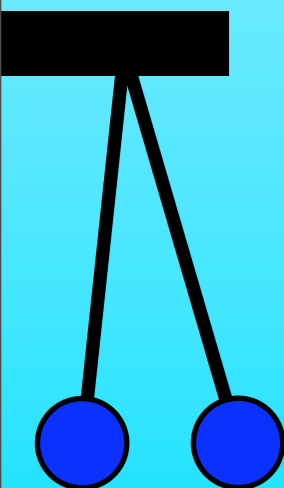
質点：大きさの無い質量(m)のみを持つ点

複雑な対象

情報の縮約



m : 唯一の特性として抽出



<http://>

Space Shuttle



法則

Universality (普遍性)とは？

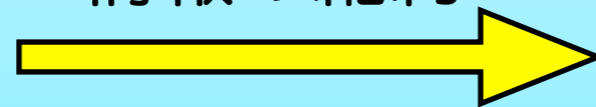
$F = ma$: 押しただけスピードアップ

理想化

質点：大きさの無い質量(m)のみを持つ点

複雑な対象

情報の縮約



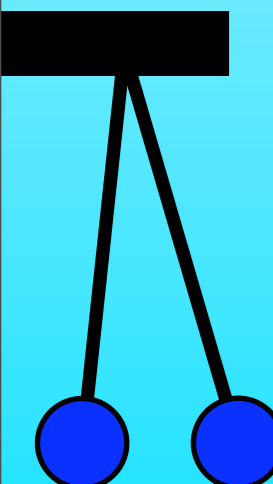
m : 唯一の特性として抽出

ある時間スケール、空間スケールで
成立する階層的な基本法則の発見



<http://>

Space Shuttle



法則

Universality (普遍性)とは？

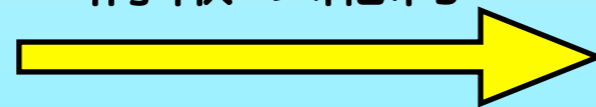
$F = ma$: 押しただけスピードアップ

理想化

質点：大きさの無い質量(m)のみを持つ点

複雑な対象

情報の縮約



m : 唯一の特性として抽出

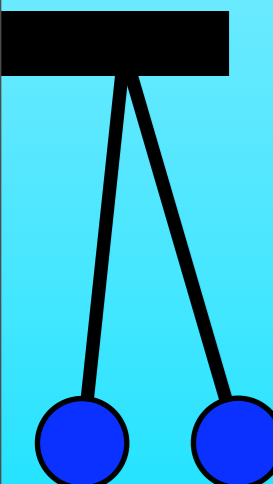
ある時間スケール、空間スケールで
成立する階層的な基本法則の発見

Universality



<http://>

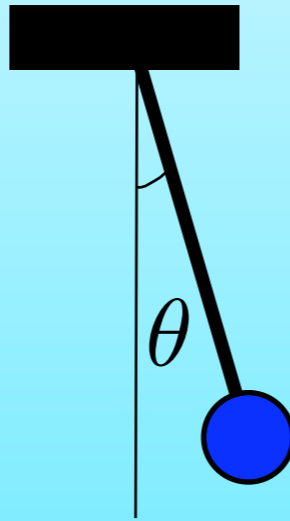
Space Shuttle



Universality (普遍性)とは？

ある時間スケール、空間スケールで
成立する階層的な基本法則の発見

Universality

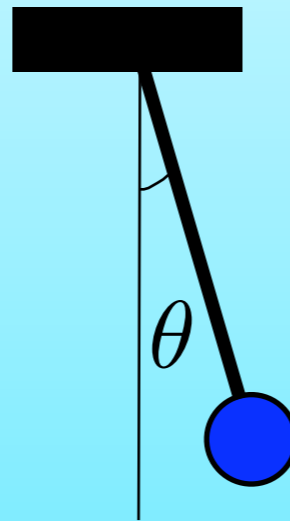


$$l\ddot{\theta} = -mg \sin \theta$$

Universality (普遍性)とは？

ある時間スケール、空間スケールで
成立する階層的な基本法則の発見

Universality



$$l\ddot{\theta} = -mg \sin \theta$$



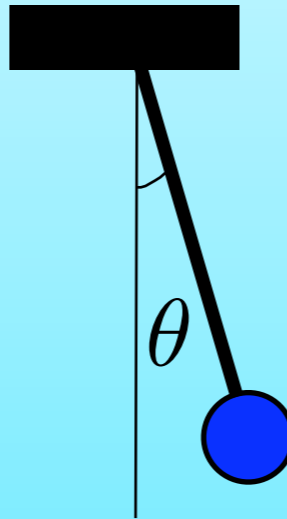
$$\theta \ll 1$$

$$\ddot{\theta} \approx -\left(\frac{mg}{l}\right)\theta$$

Universality (普遍性)とは？

ある時間スケール、空間スケールで
成立する階層的な基本法則の発見

Universality



厳密 (exact)

$$l\ddot{\theta} = -mg \sin \theta$$



$$\theta \ll 1$$

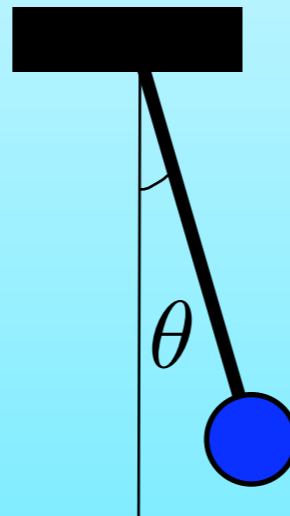
$$\ddot{\theta} \approx -\left(\frac{mg}{l}\right)\theta$$

近似 (approx.)

Universality (普遍性)とは？

ある時間スケール、空間スケールで
 成立する階層的な基本法則の発見

Universality



mathematics

厳密 (exact)

$$l\ddot{\theta} = -mg \sin \theta$$

physics



$$\theta \ll 1$$

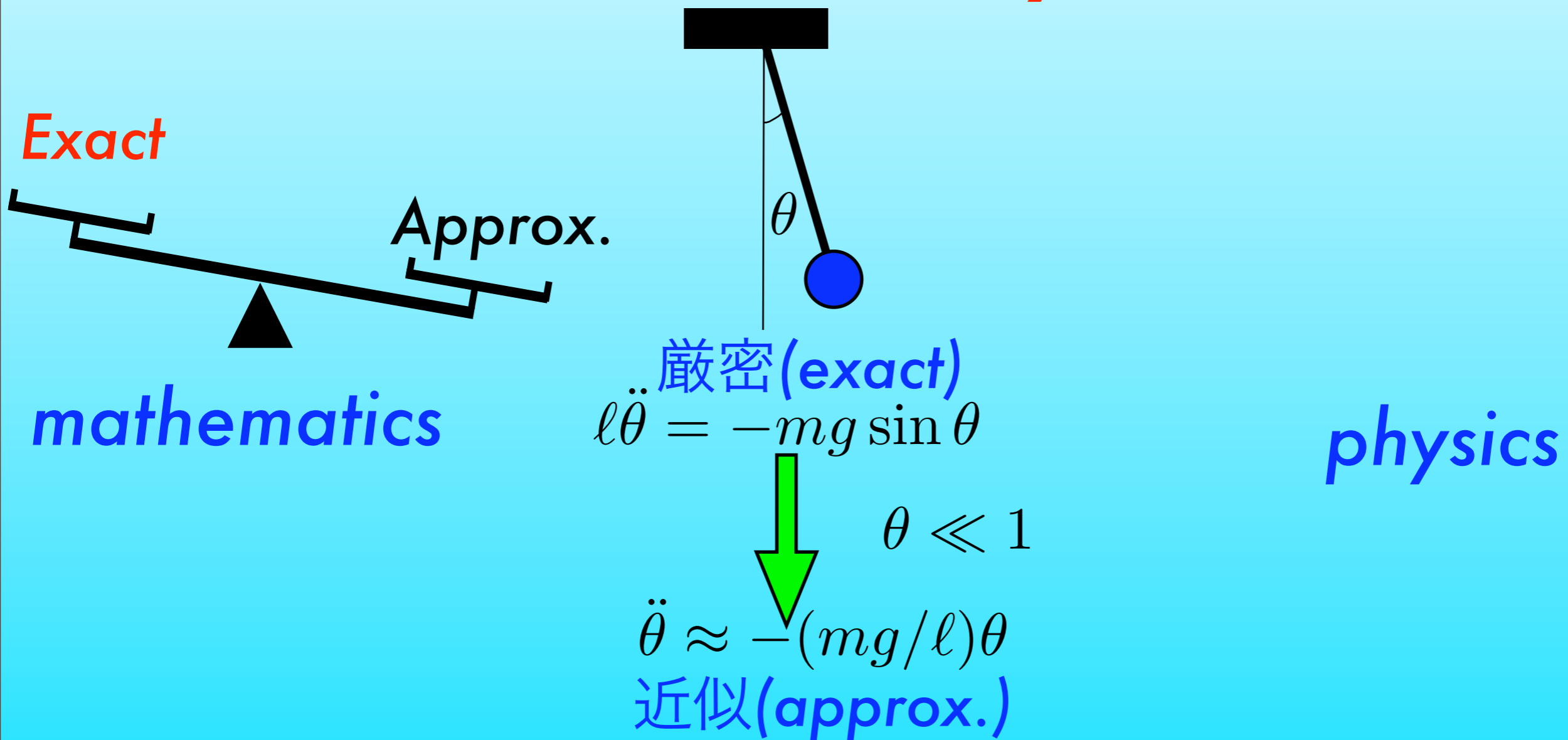
$$\ddot{\theta} \approx -\left(\frac{mg}{l}\right)\theta$$

近似 (approx.)

Universality (普遍性)とは？

ある時間スケール、空間スケールで
 成立する階層的な基本法則の発見

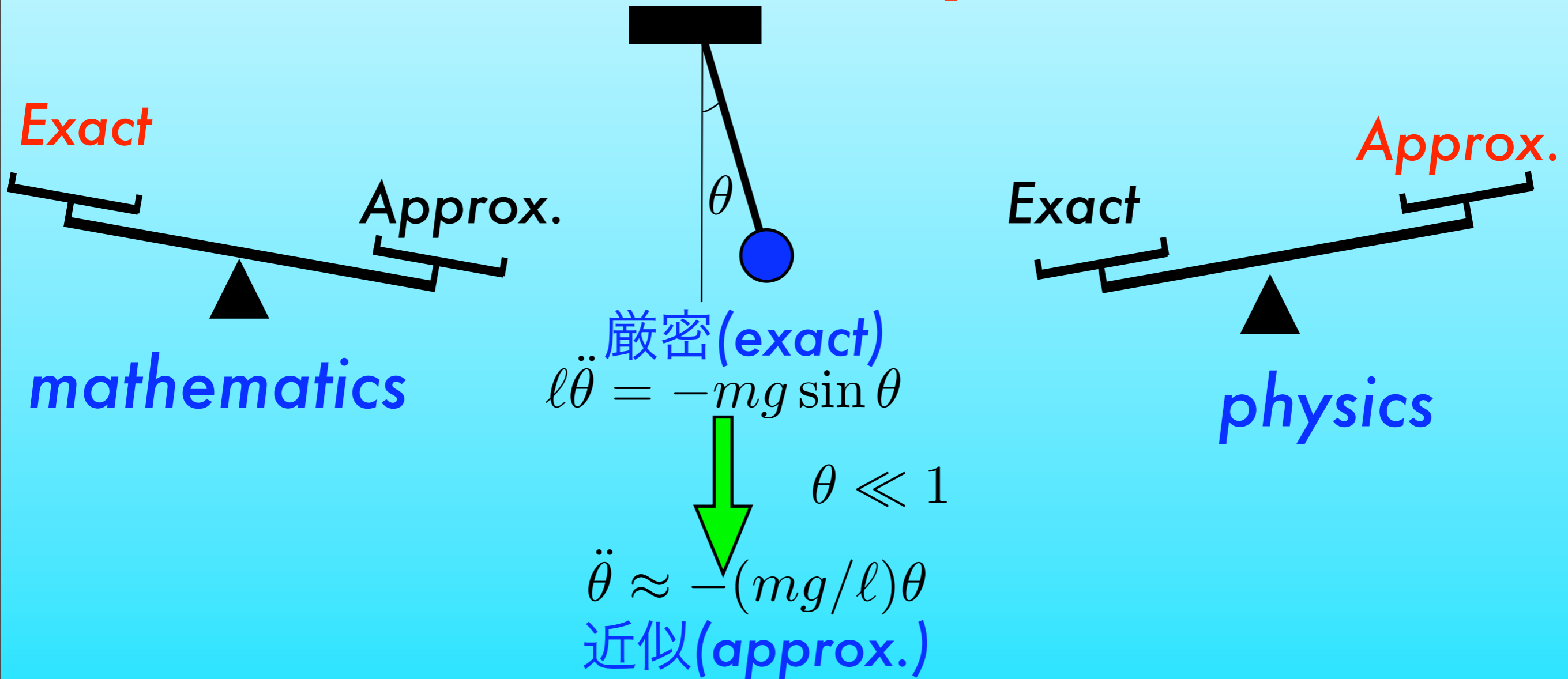
Universality



Universality (普遍性)とは？

ある時間スケール、空間スケールで
 成立する階層的な基本法則の発見

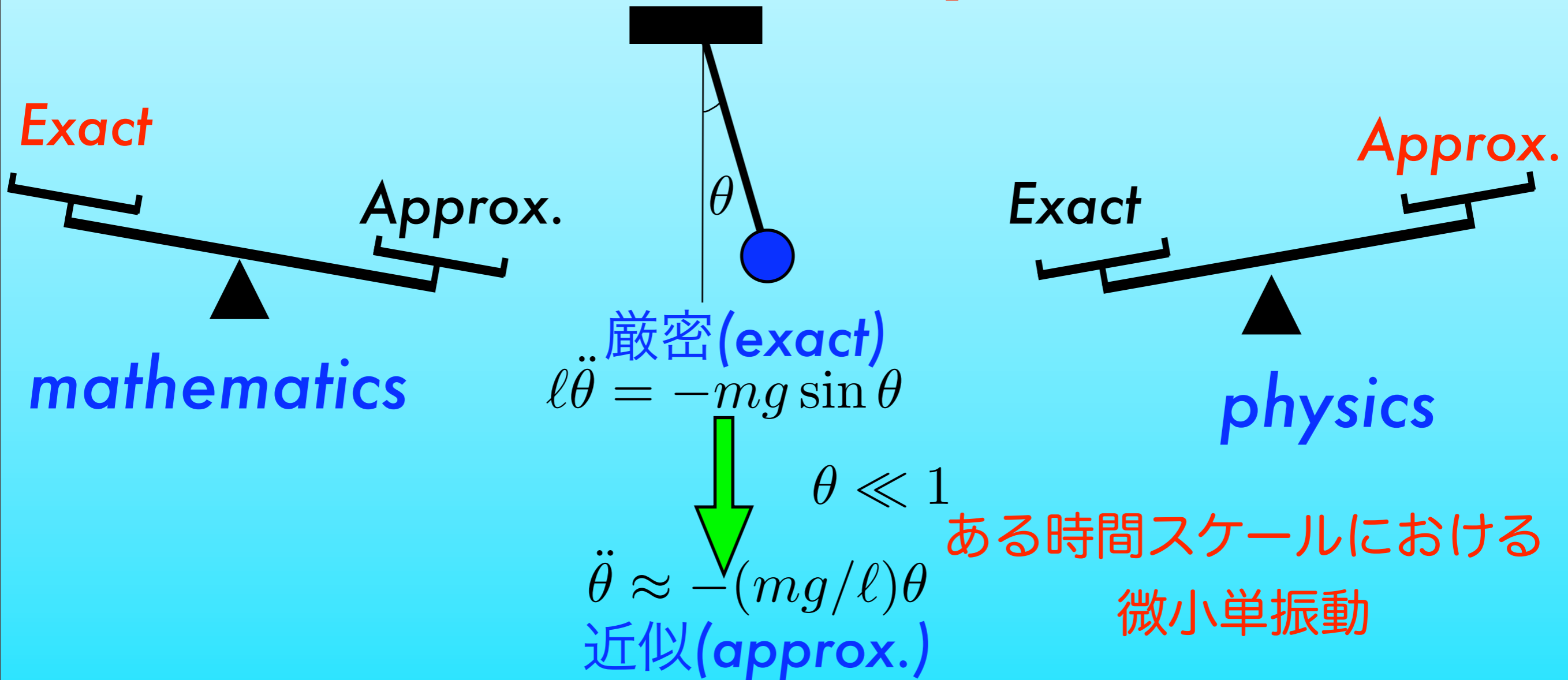
Universality



Universality (普遍性)とは？

ある時間スケール、空間スケールで
成立する階層的な基本法則の発見

Universality



自然科学としての物理学

自然科学としての物理学

自然科学

自然科学としての物理学

普遍性 *Universality*

自然科学

自然科学としての物理学

普遍性

Universality

自然科学

多様性

Diversity

自然科学としての物理学

普遍性

Universality

自然科学



多様性

Diversity

自然科学としての物理学

普遍性

Universality

Physics

自然科学



多様性

Diversity

自然科学としての物理学

普遍性

Universality

Physics

自然科学



多様性

Diversity

化学 *chemistry*

工学 *engineering*

生物学 *biology*

自然科学としての物理学

普遍性

Universality

Physics

自然科学



多様性

Diversity

化学 *chemistry*

工学 *engineering*

生物学 *biology*

有用な各論

自然科学としての物理学

普遍性

Universality

Physics

各論の基礎付け
質的転回の基礎

自然科学



多様性

Diversity

化学 *chemistry*

工学 *engineering*

生物学 *biology*

有用な各論

自然科学としての物理学

普遍性

Universality

Physics

各論の基礎付け
質的転回の基礎

自然科学



多様性

Diversity

化学 chemistry

工学 engineering

生物学 biology

人間の幸福
文化的価値

異なるアプローチ (相補的)

有用な各論

*Spontaneous
Broken
Symmetry*

Use it for particle physics : Y. Nambu

Universal & Basics

Concept

in the whole physics

物理学における”タイショウセイ”

物理学における”タイシヨウセイ”

対称

物理学における”タイショウセイ”

対照

物理学における”タイショウセイ”

対象

物理学における”タイショウセイ”

~~対照~~

対称

~~対象~~

物理学における対称性

対称性

物理学における対称性

対称性 *Symmetry*

物理学における対称性

対称性 *Symmetry*

対称？

物理学における対称性

対称性 *Symmetry*

対称？

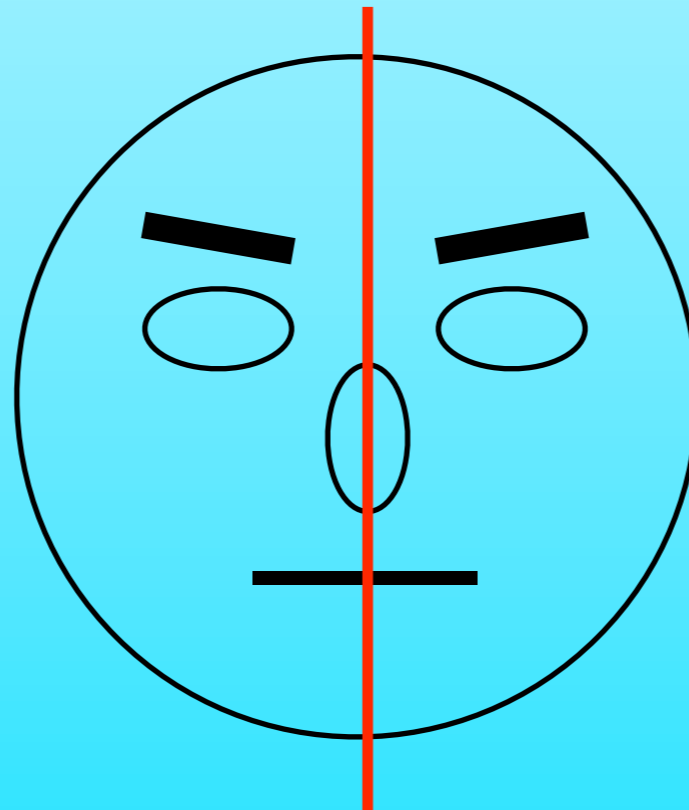
美人は顔のつくりが左右対称 ？

物理学における対称性

対称性 *Symmetry*

対称？

美人は顔のつくりが左右対称 ？

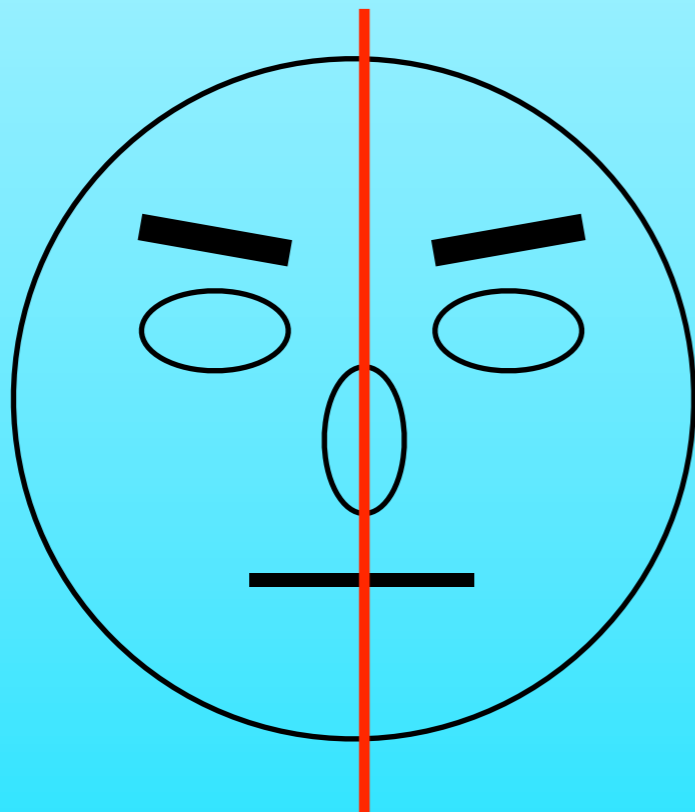


物理学における対称性

対称性 *Symmetry*

対称？

美人は顔のつくりが左右対称 ？

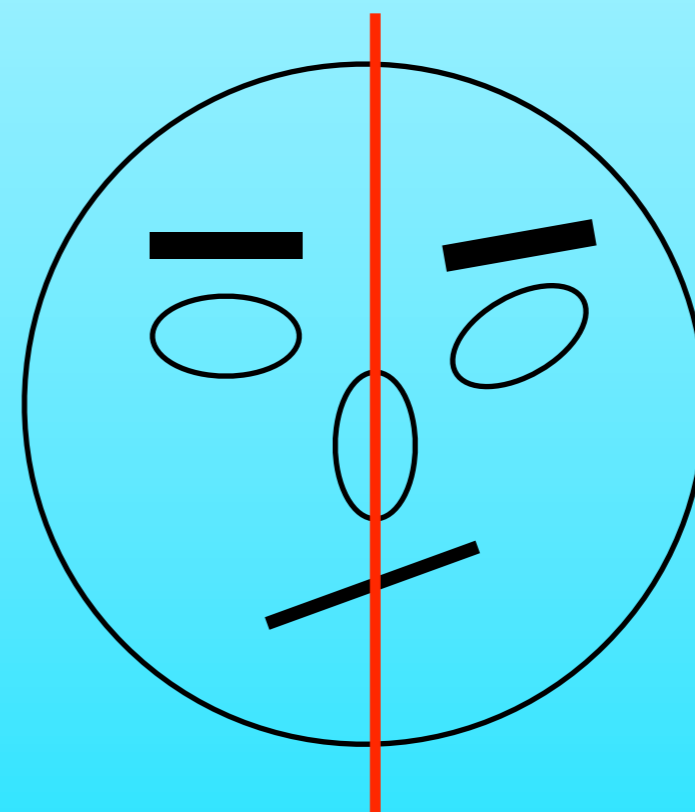
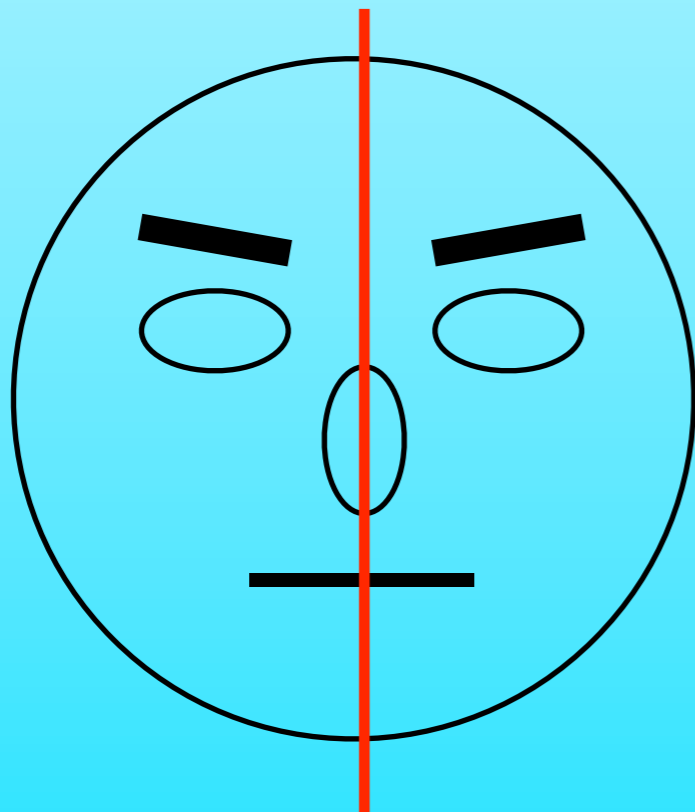


物理学における対称性

対称性 *Symmetry*

対称？

美人は顔のつくりが左右対称 ？



物理学における対称性

対称性 *Symmetry*

対称？

美人は顔のつくりが左右対称 ？



nice !



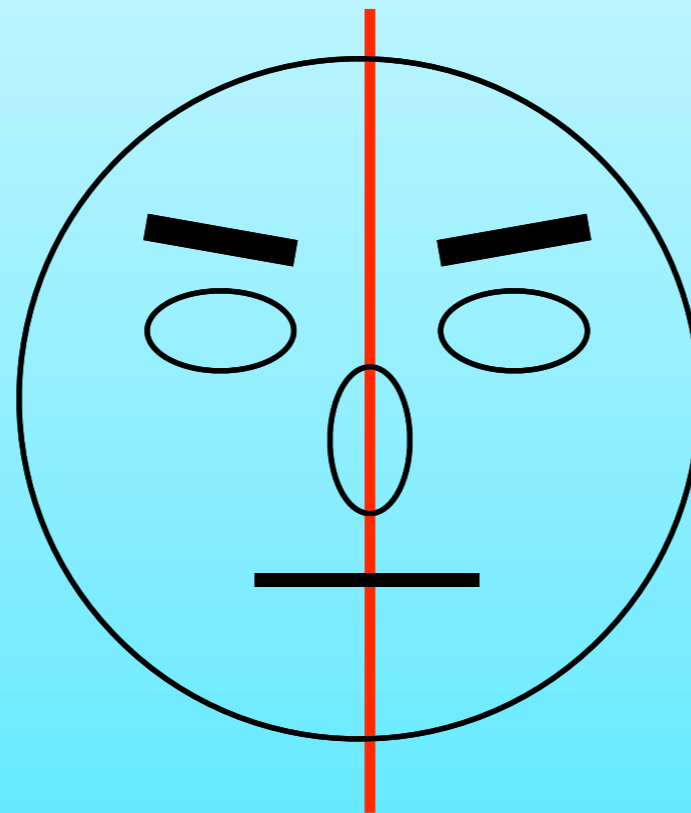
not so much

物理学における対称性

対称性

Symmetry

左右対称

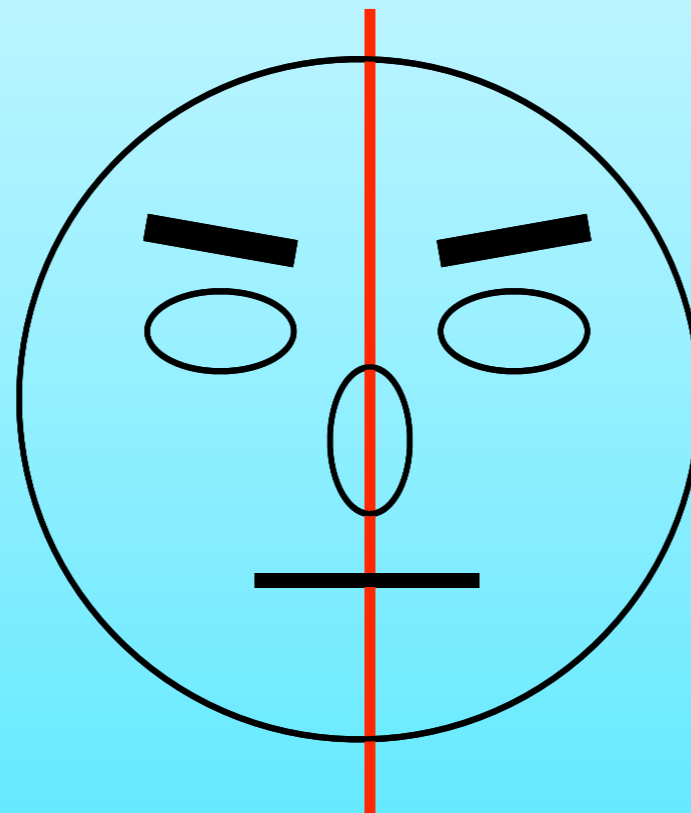


物理学における対称性

対称性

Symmetry

左右対称

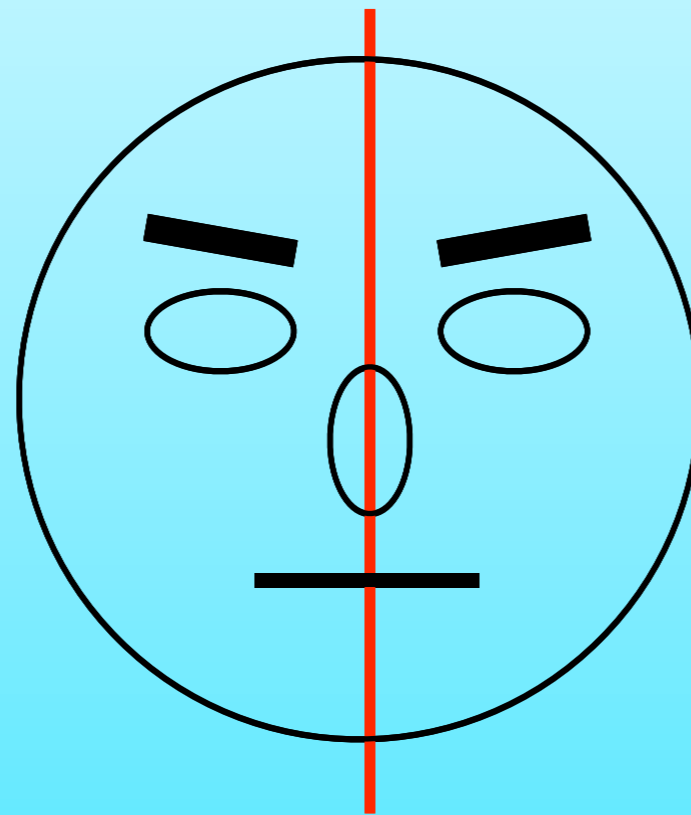


物理学における対称性

対称性

Symmetry

左右対称



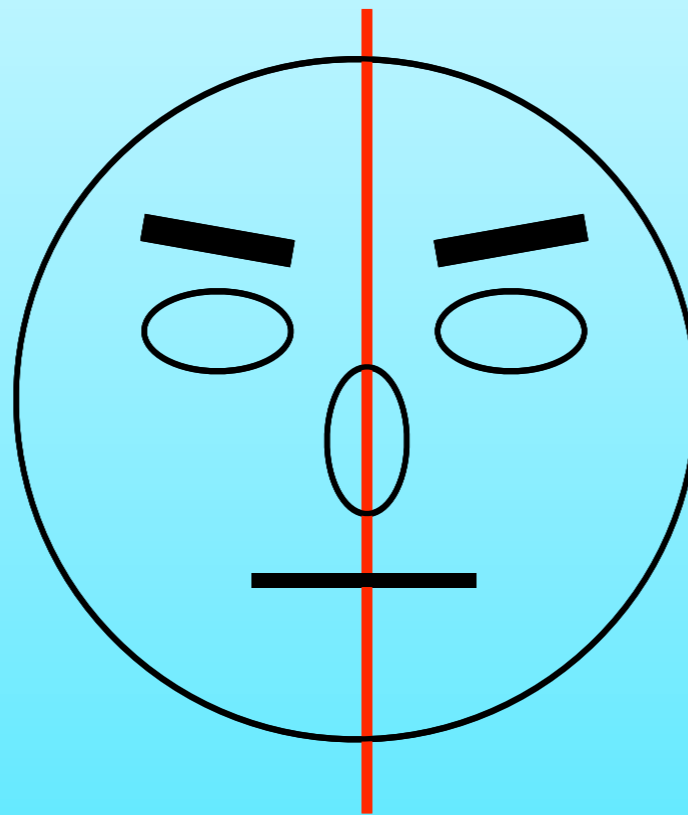
ひっくり返す

物理学における対称性

対称性

Symmetry

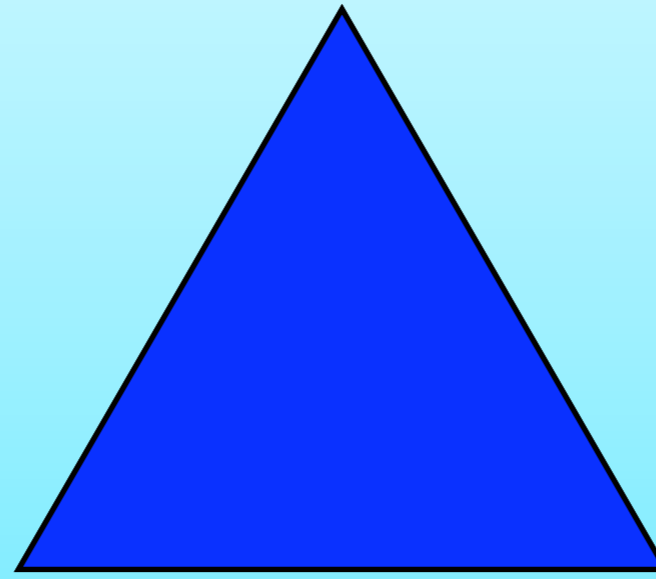
左右対称



ひっくり返す

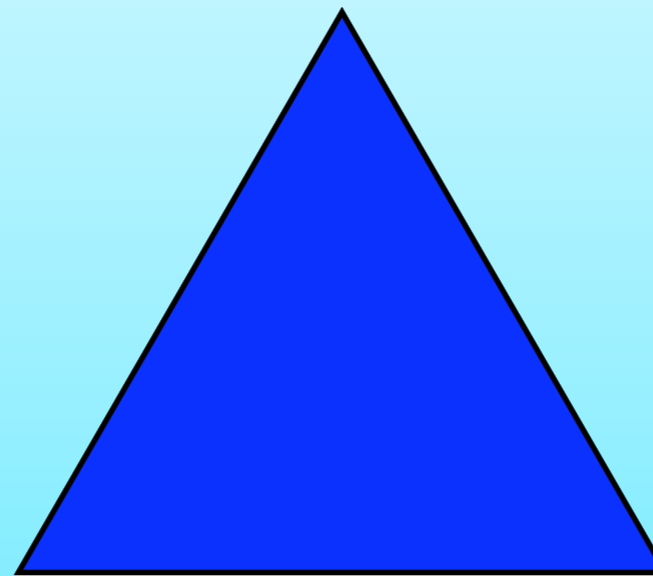
「対称操作」

Symmetry



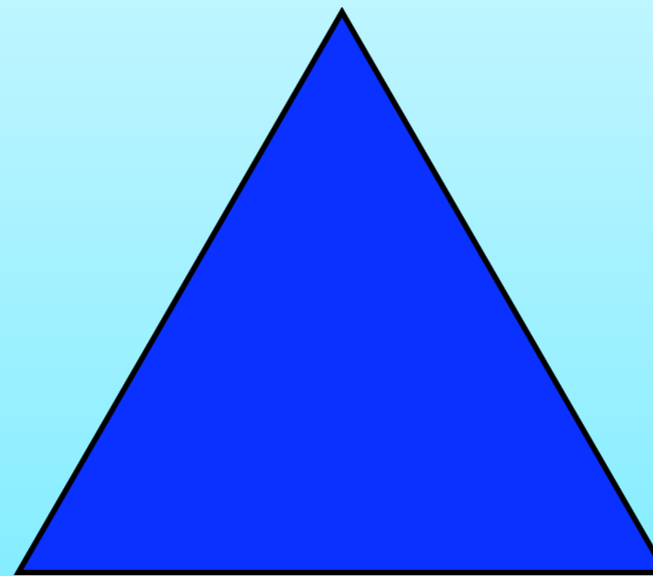
Symmetry

「いろいろな対称操作」



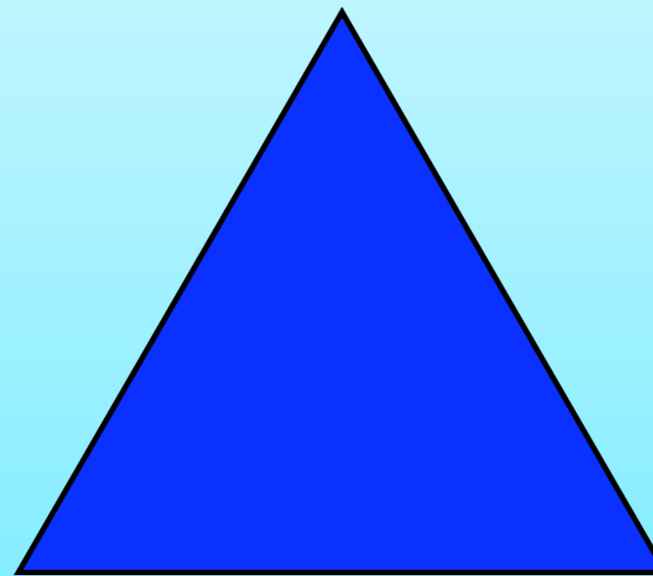
Symmetry

「いろいろな対称操作」



Symmetry

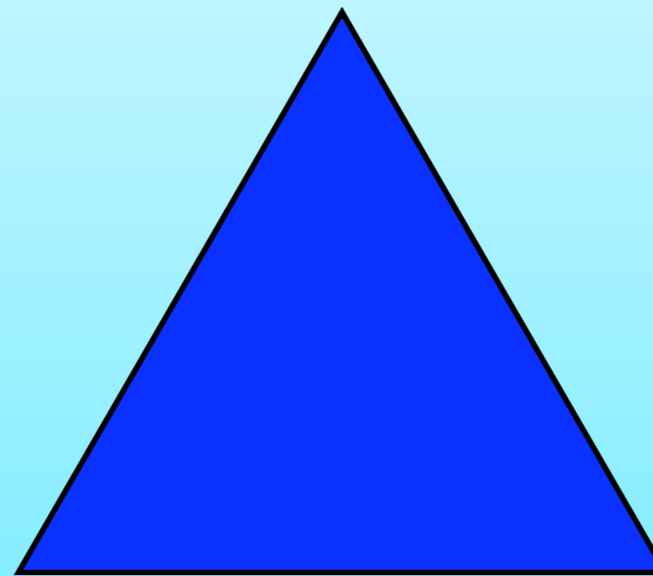
「いろいろな対称操作」



120度回転

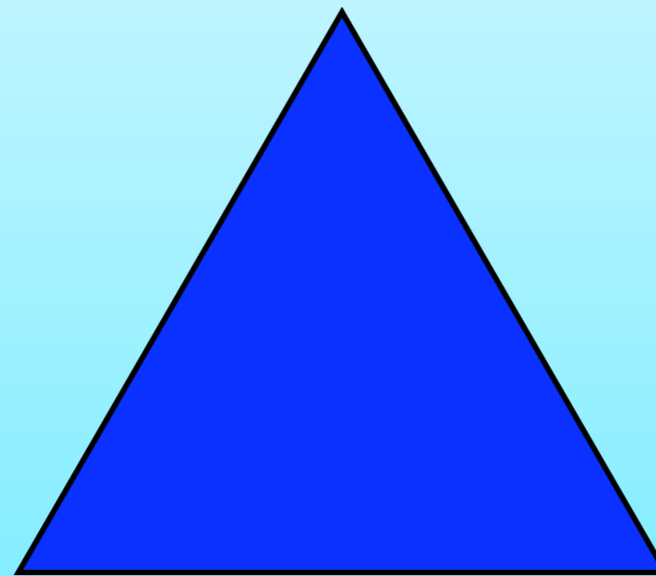
Symmetry

「いろいろな対称操作」



Symmetry

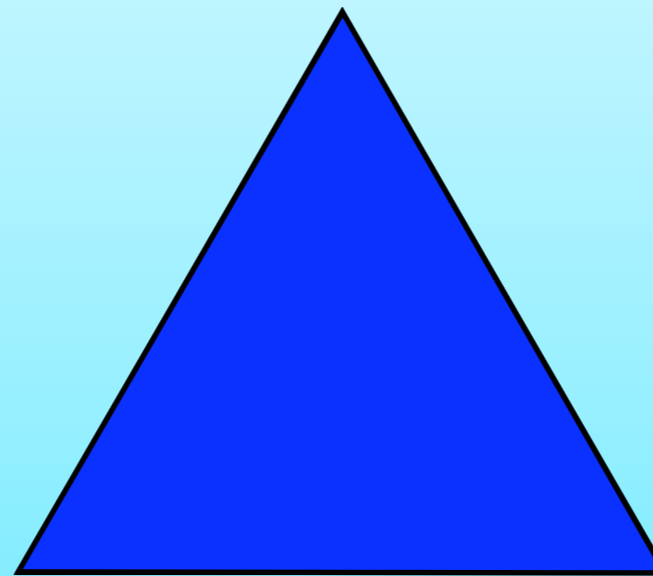
「いろいろな対称操作」



240度回転

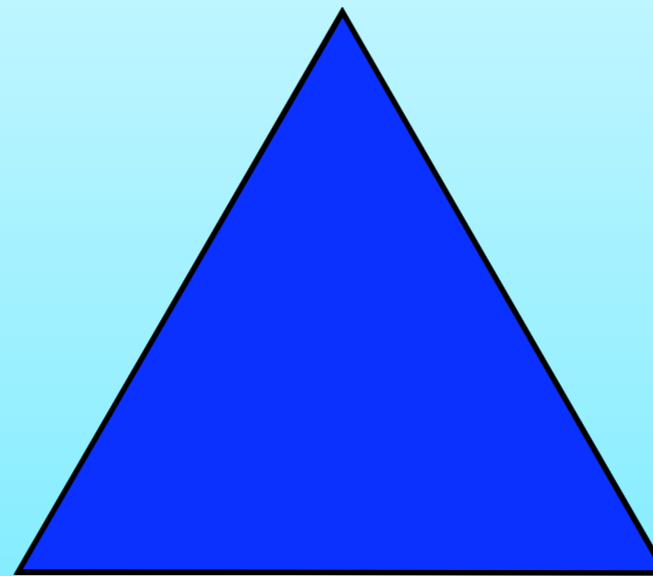
Symmetry

「いろいろな対称操作」



Symmetry

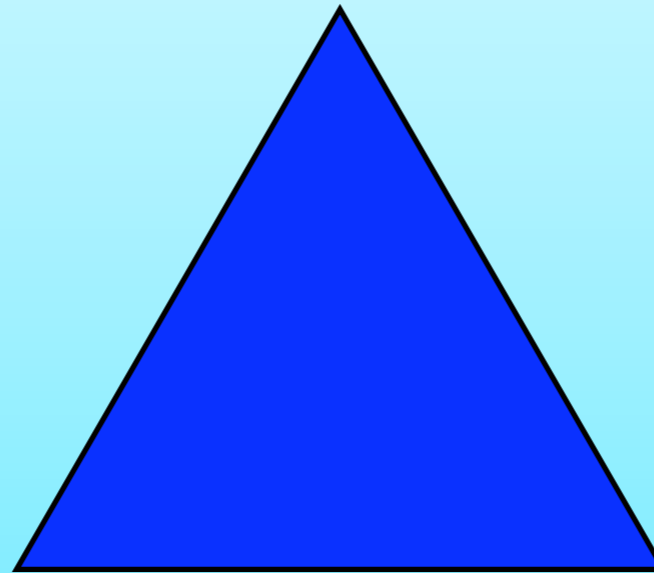
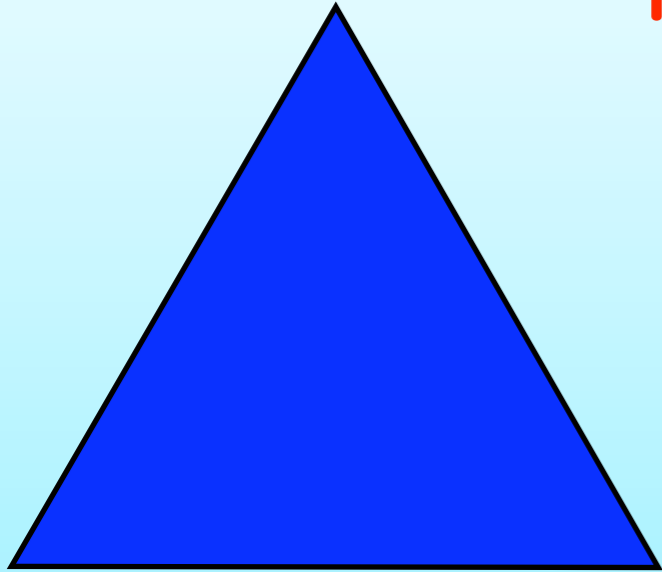
「いろいろな対称操作」



360度回転

Symmetry

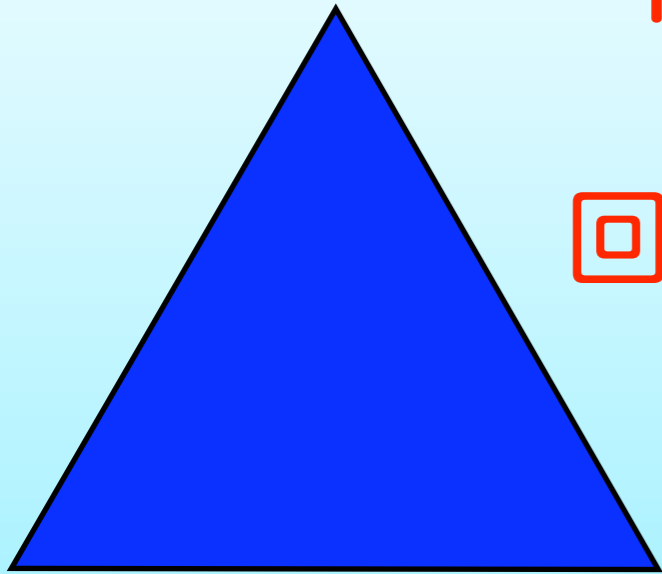
「いろいろな対称操作」



Symmetry

「いろいろな対称操作」

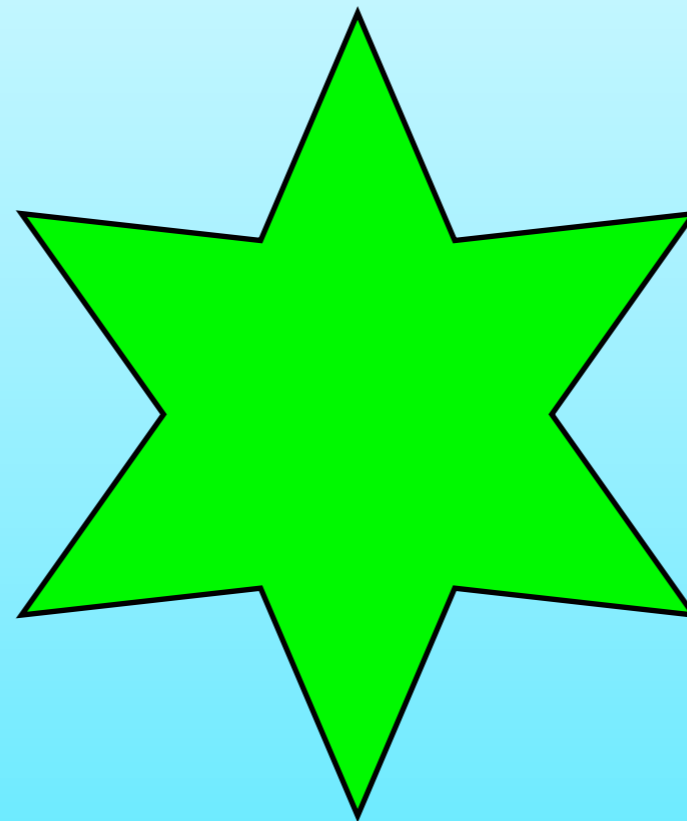
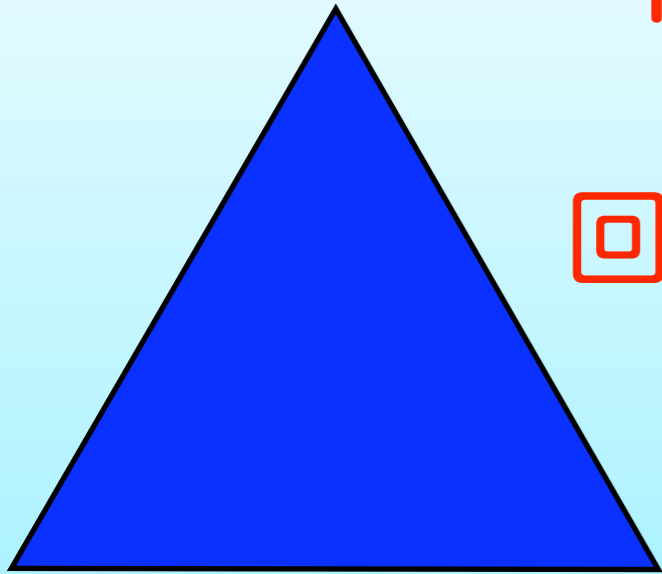
回転角：120度、240度、360度



Symmetry

「いろいろな対称操作」

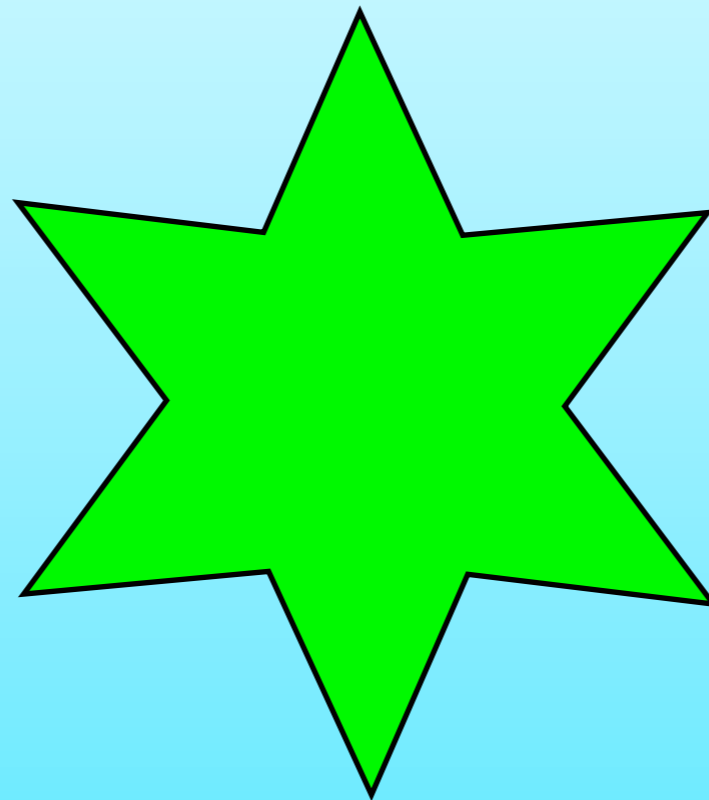
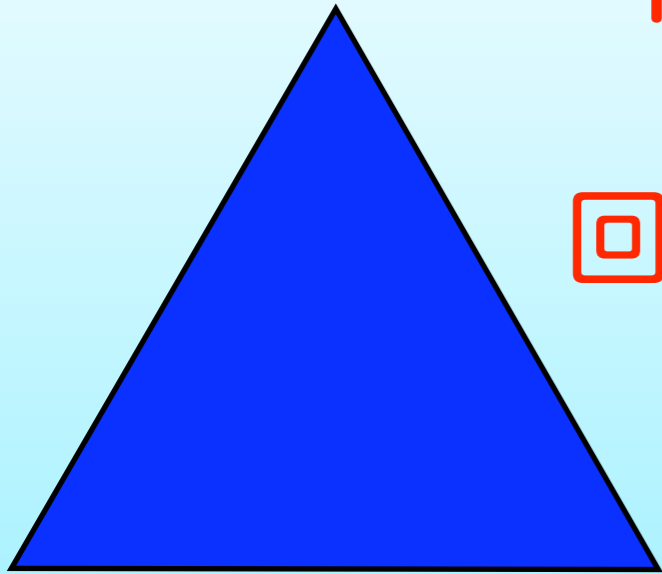
回転角：120度、240度、360度



Symmetry

「いろいろな対称操作」

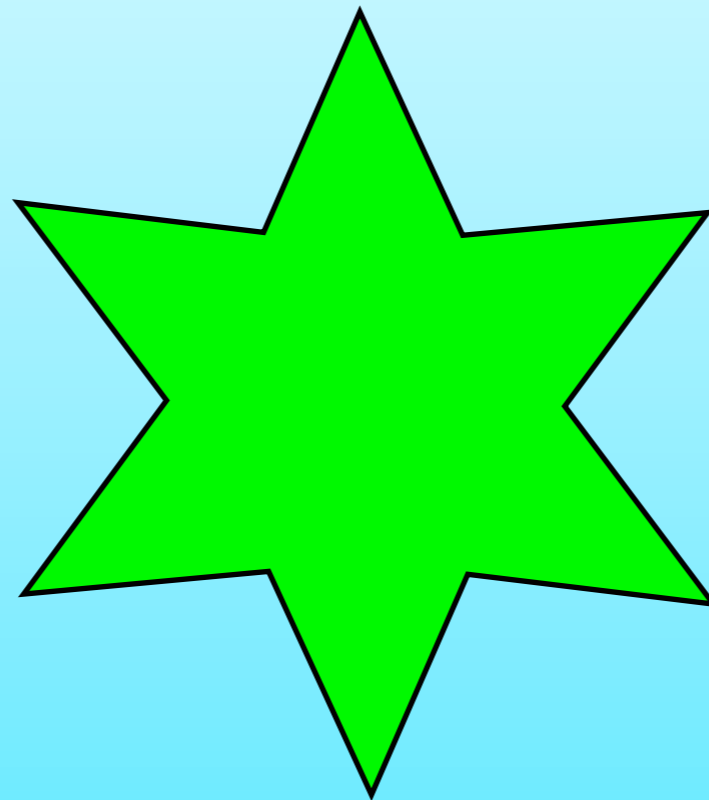
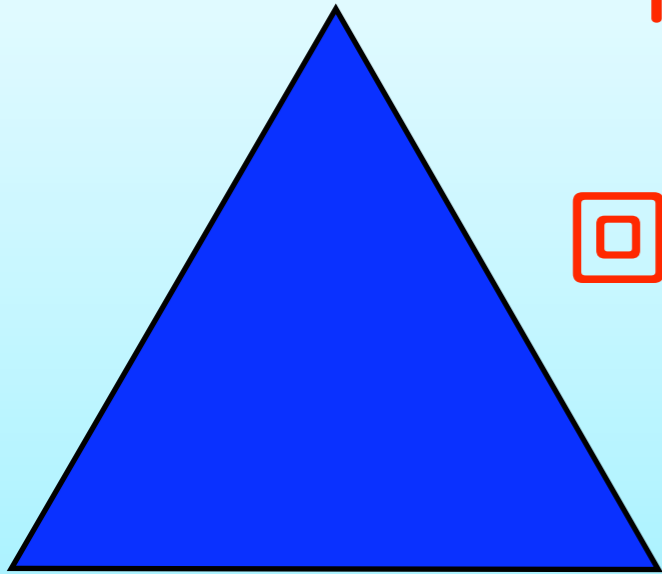
回転角：120度、240度、360度



Symmetry

「いろいろな対称操作」

回転角：120度、240度、360度

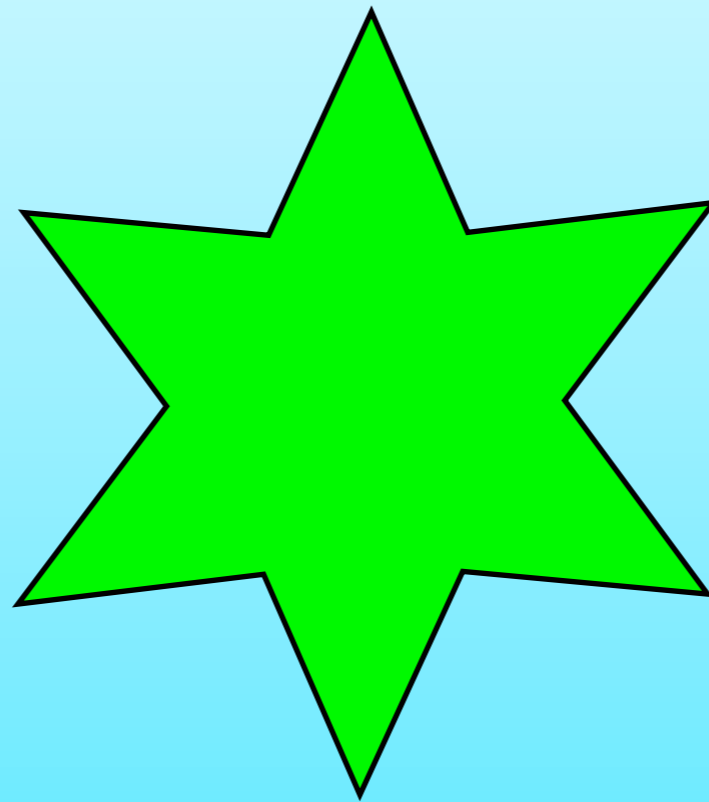
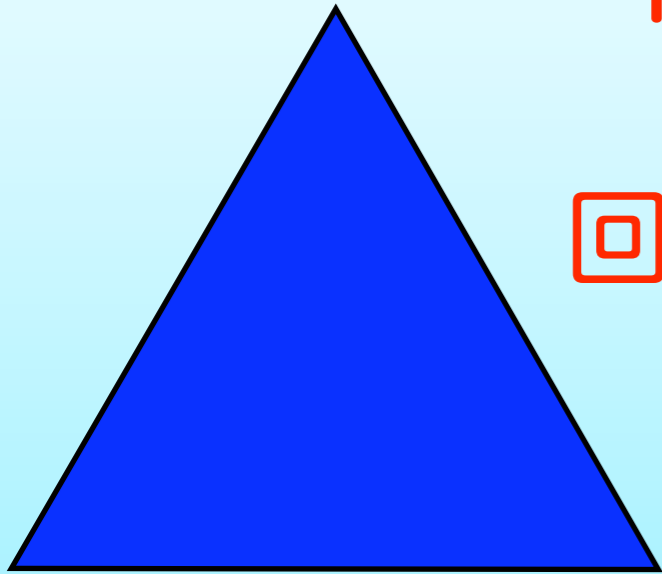


60度回転

Symmetry

「いろいろな対称操作」

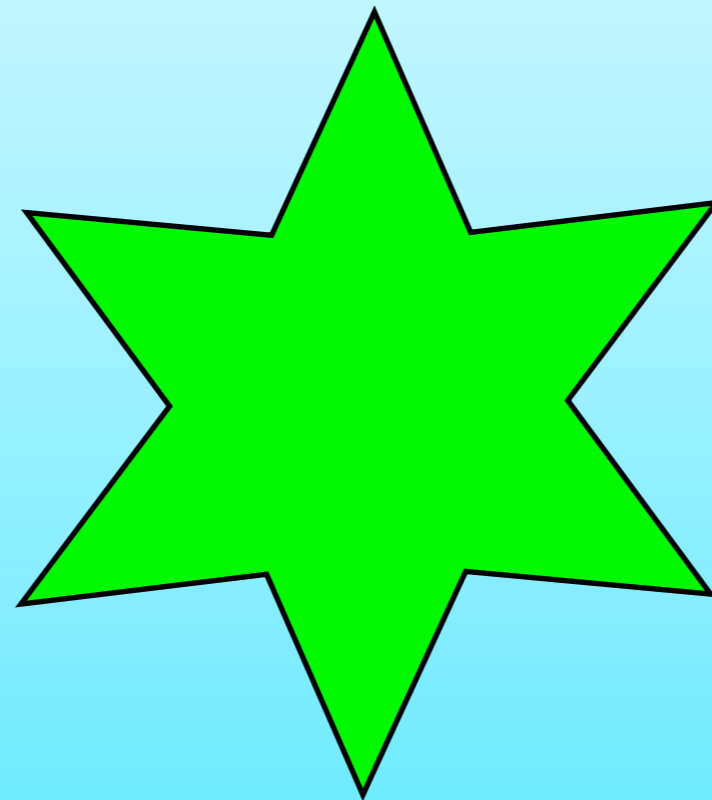
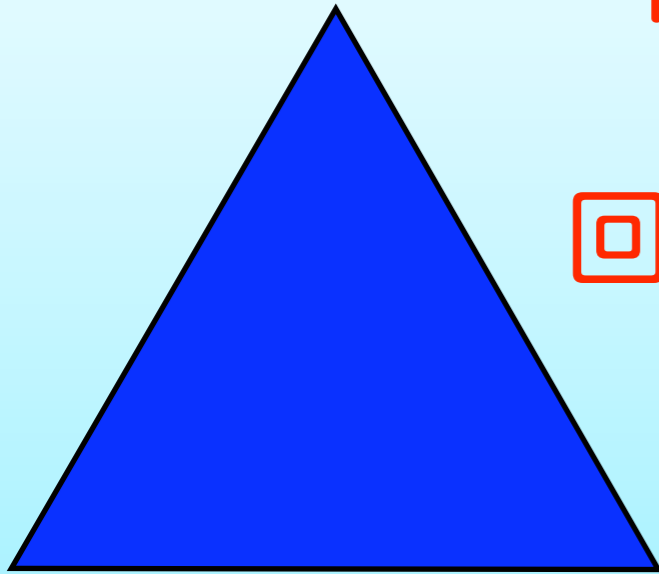
回転角：120度、240度、360度



Symmetry

「いろいろな対称操作」

回転角：120度、240度、360度

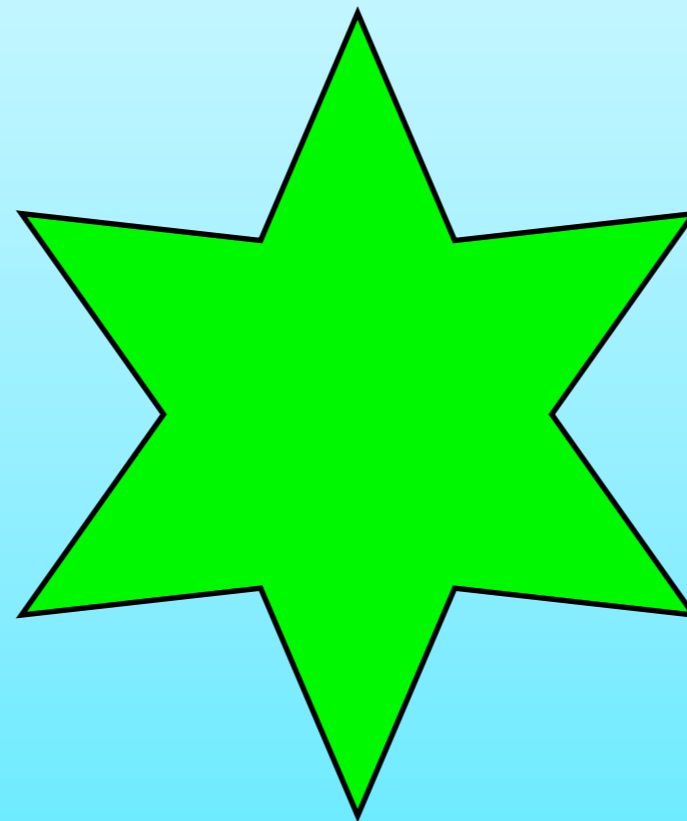
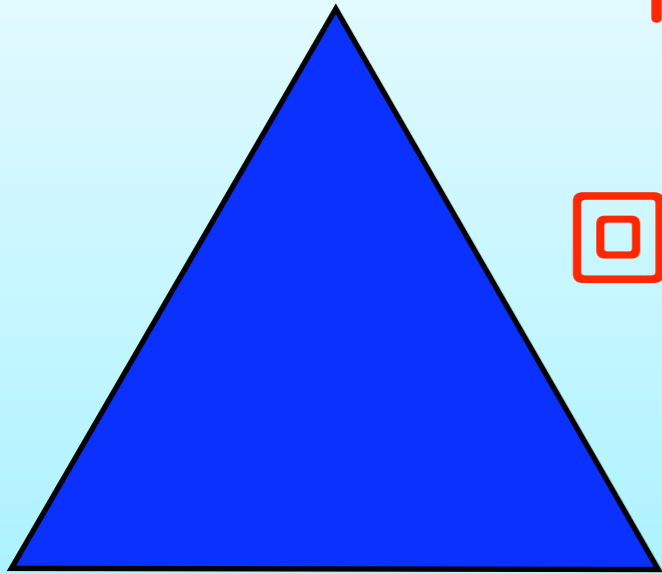


120度回転

Symmetry

「いろいろな対称操作」

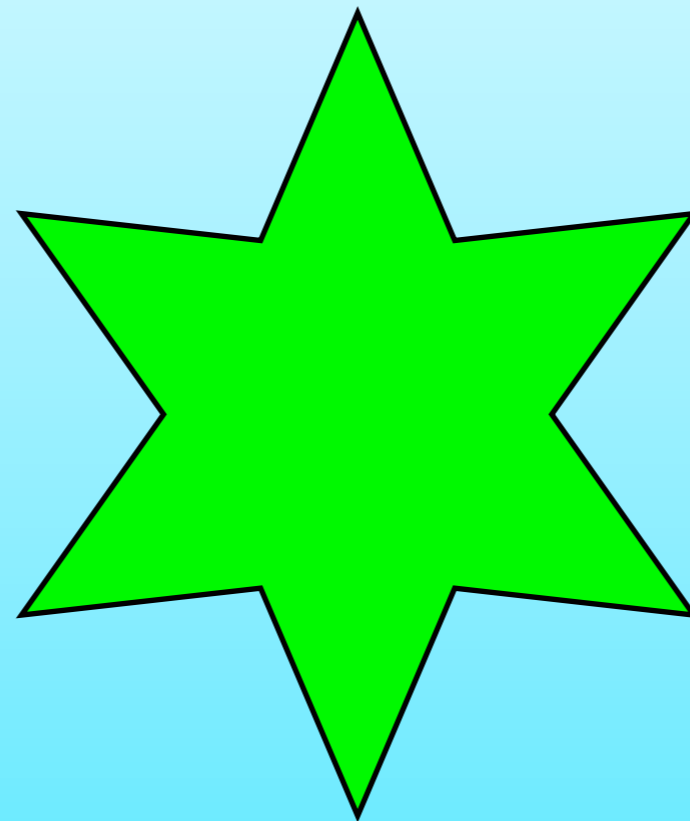
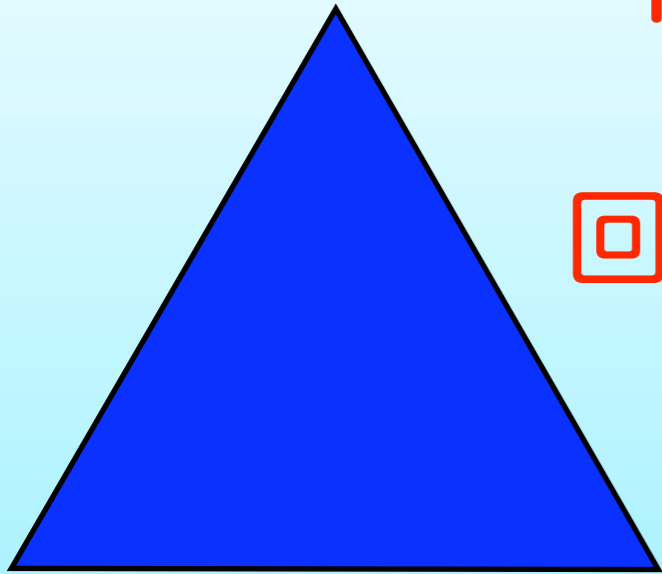
回転角：120度、240度、360度



Symmetry

「いろいろな対称操作」

回転角：120度、240度、360度

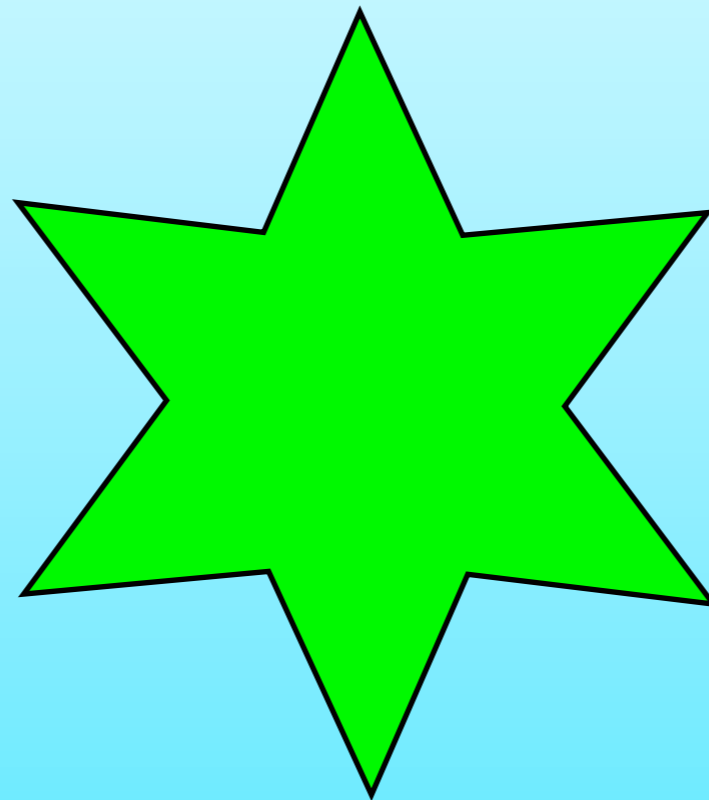
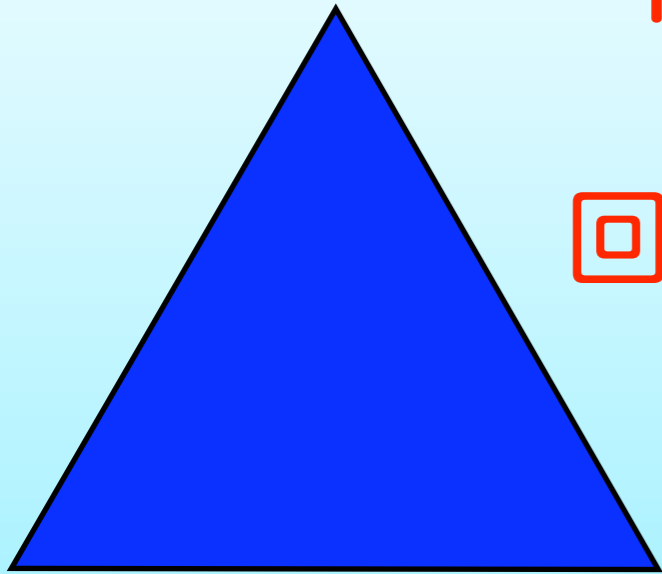


180度回転

Symmetry

「いろいろな対称操作」

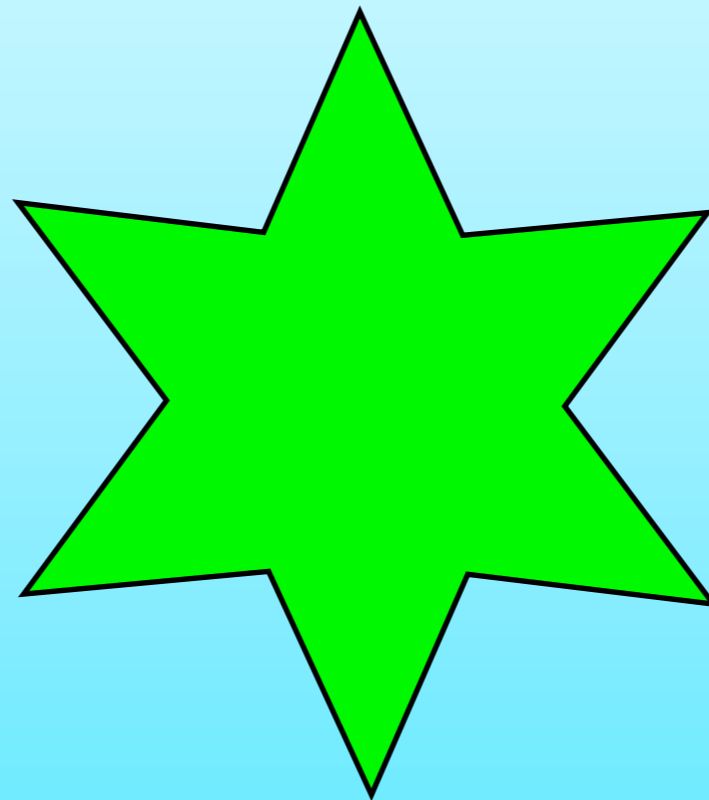
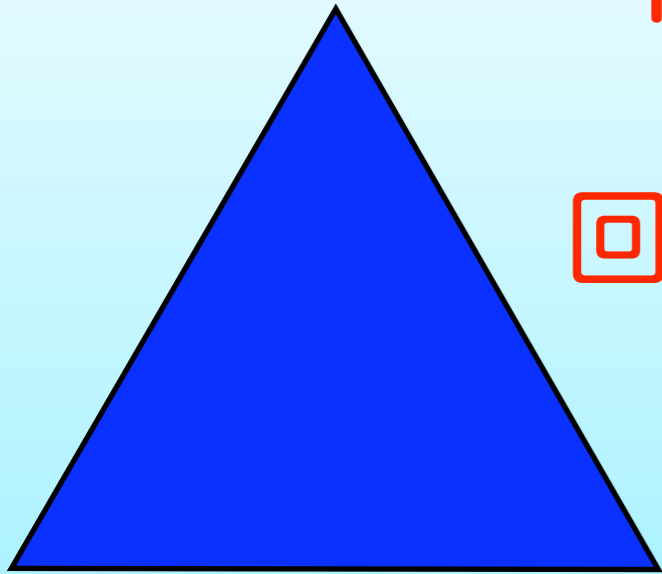
回転角：120度、240度、360度



Symmetry

「いろいろな対称操作」

回転角：120度、240度、360度

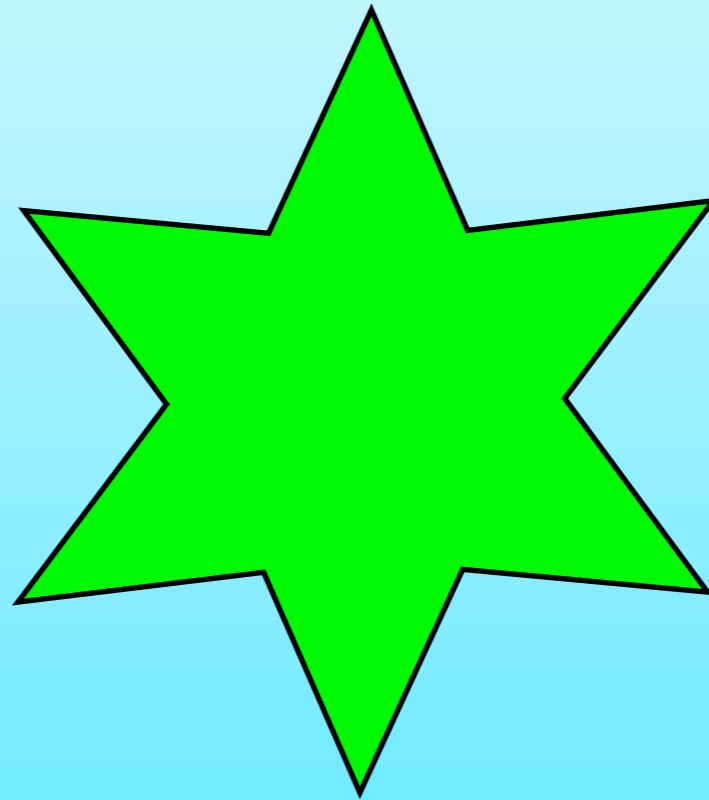
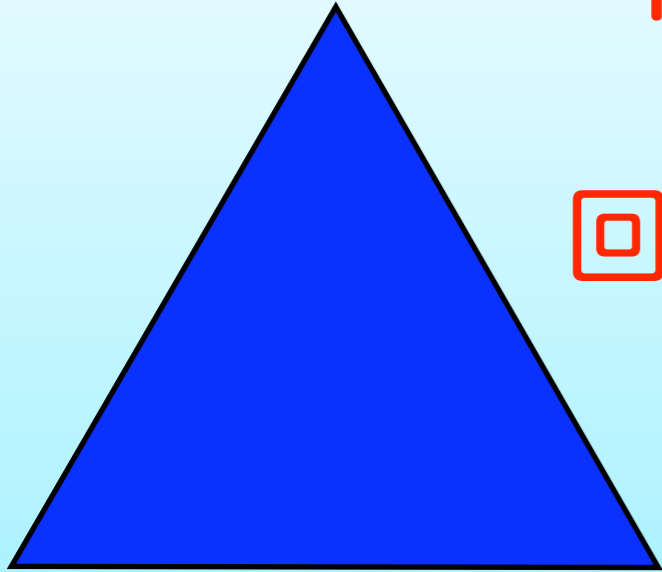


240度回転

Symmetry

「いろいろな対称操作」

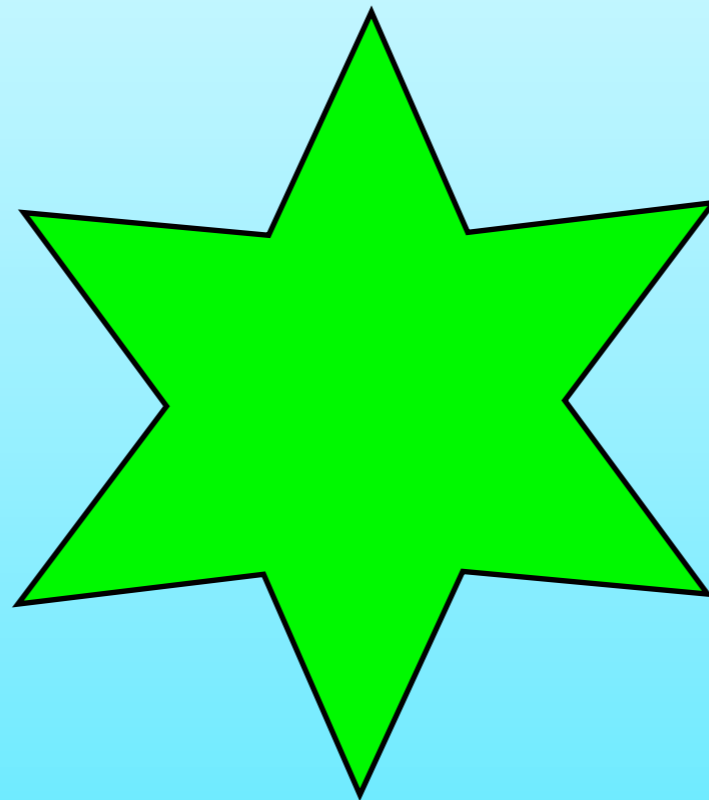
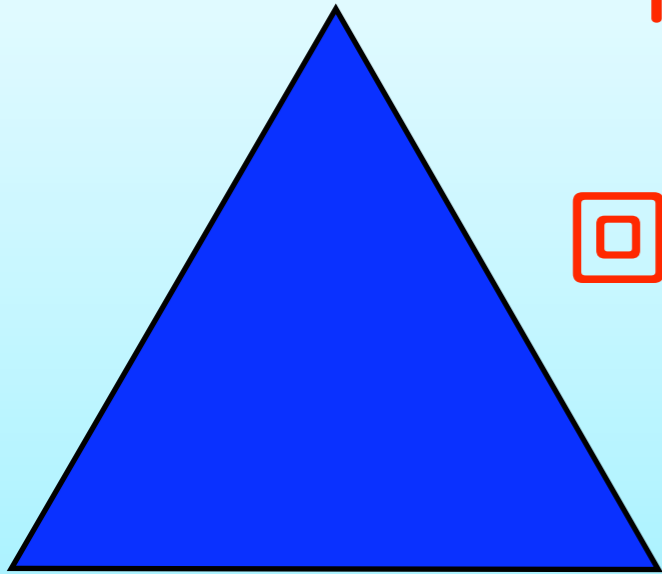
回転角：120度、240度、360度



Symmetry

「いろいろな対称操作」

回転角：120度、240度、360度

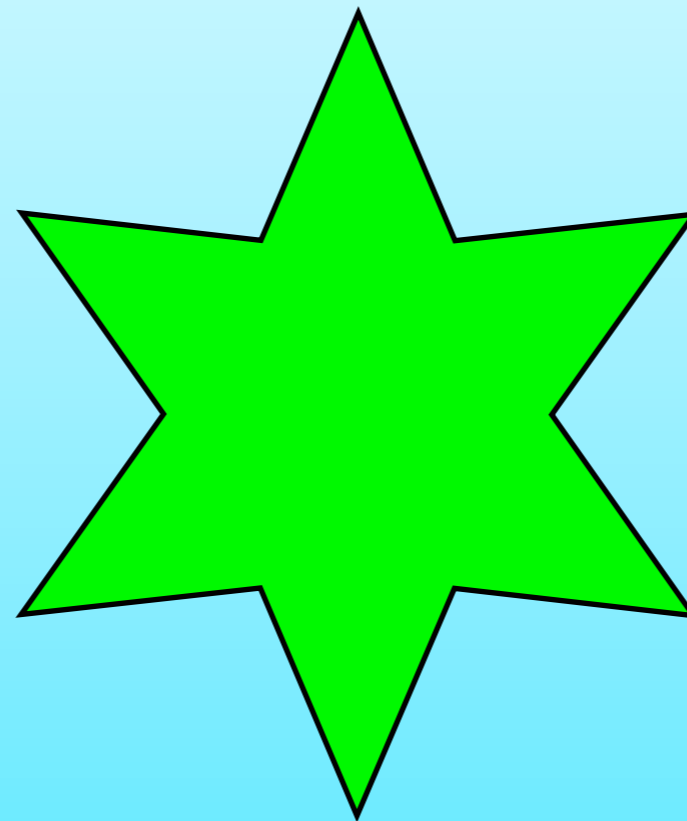
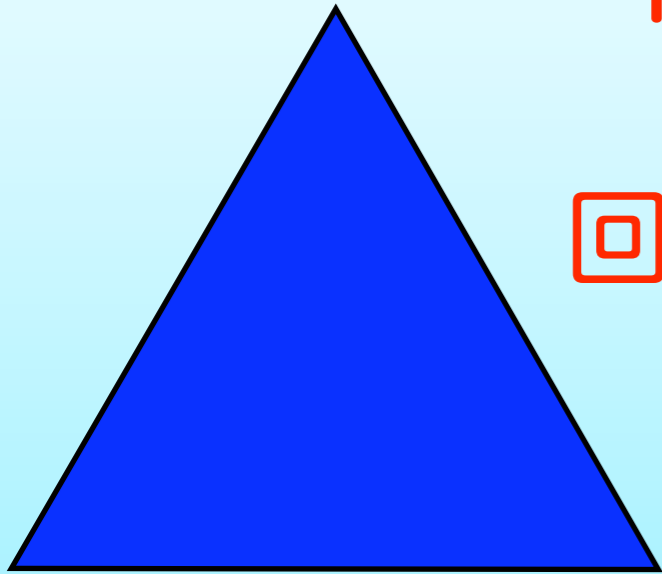


300度回転

Symmetry

「いろいろな対称操作」

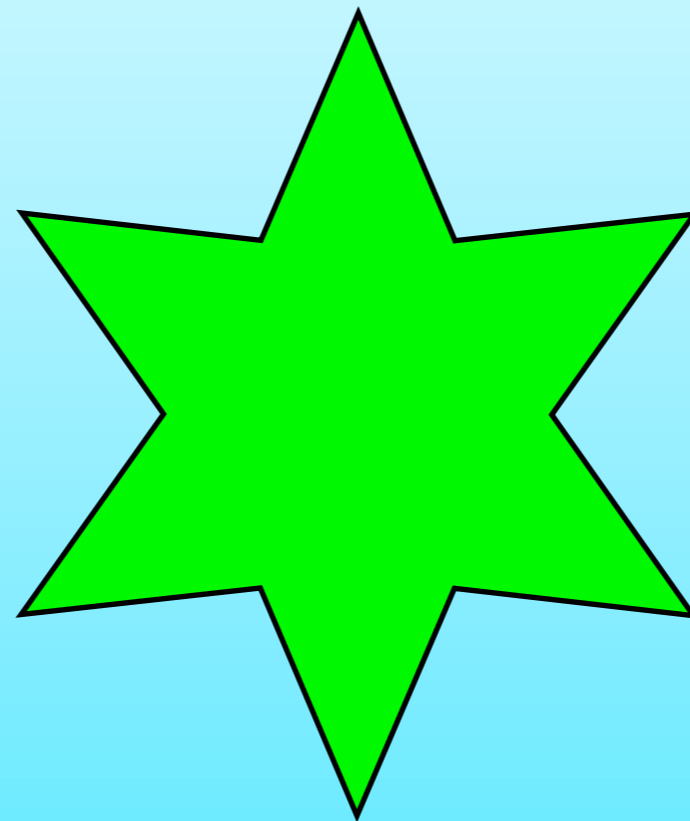
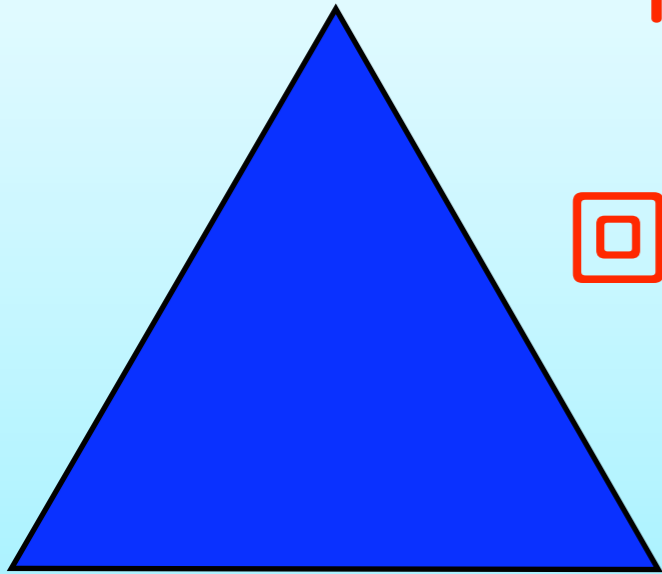
回転角：120度、240度、360度



Symmetry

「いろいろな対称操作」

回転角：120度、240度、360度

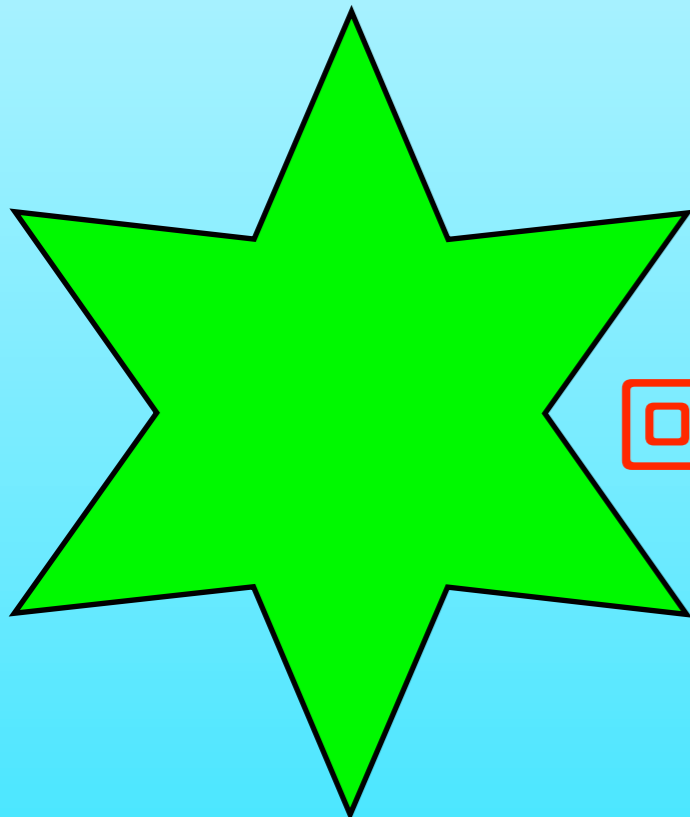
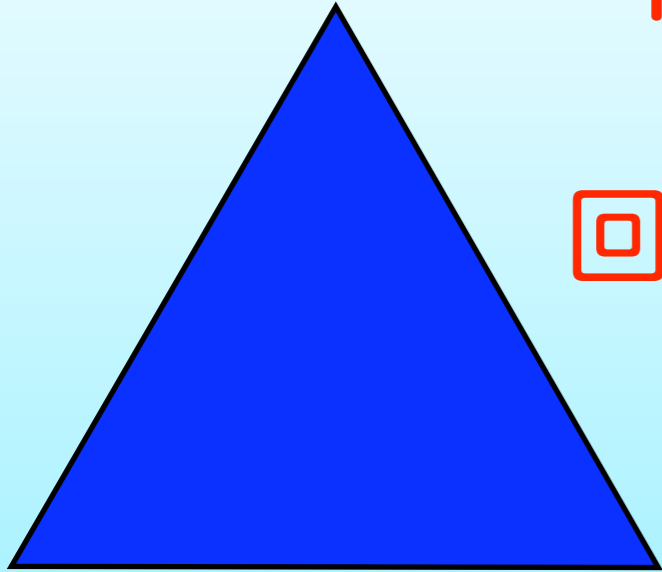


360度回転

Symmetry

「いろいろな対称操作」

回転角：120度、240度、360度

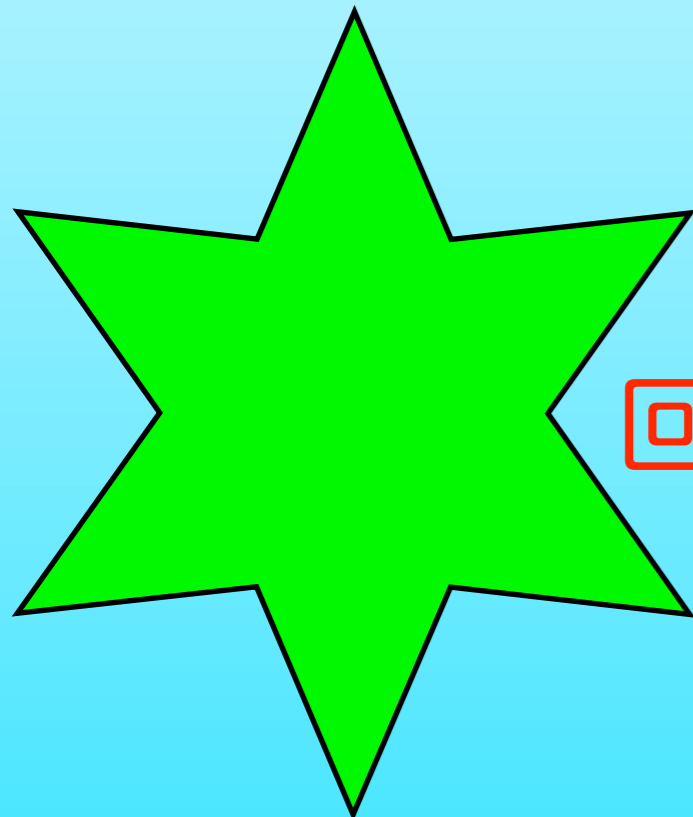
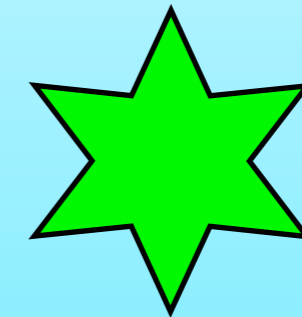
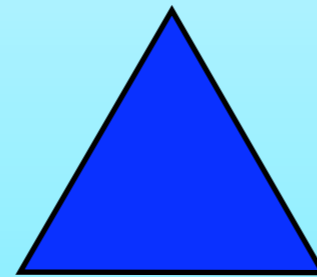
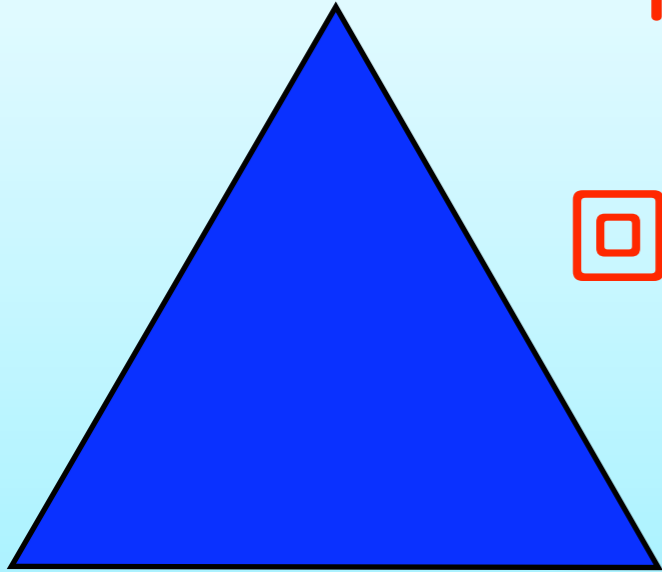


回転角：60度、120度、180度、
240度、300度、360度

Symmetry

「いろいろな対称操作」

回転角：120度、240度、360度

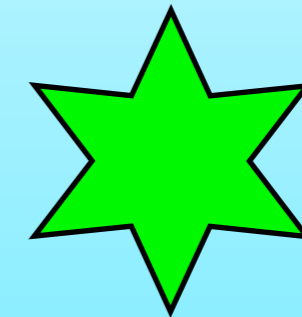
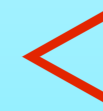
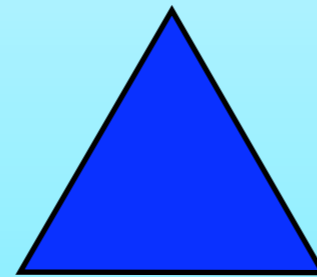
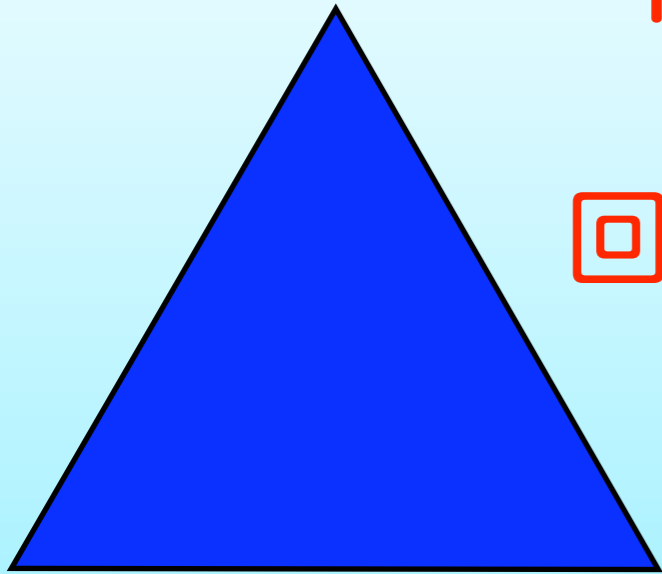


回転角：60度、120度、180度、
240度、300度、360度

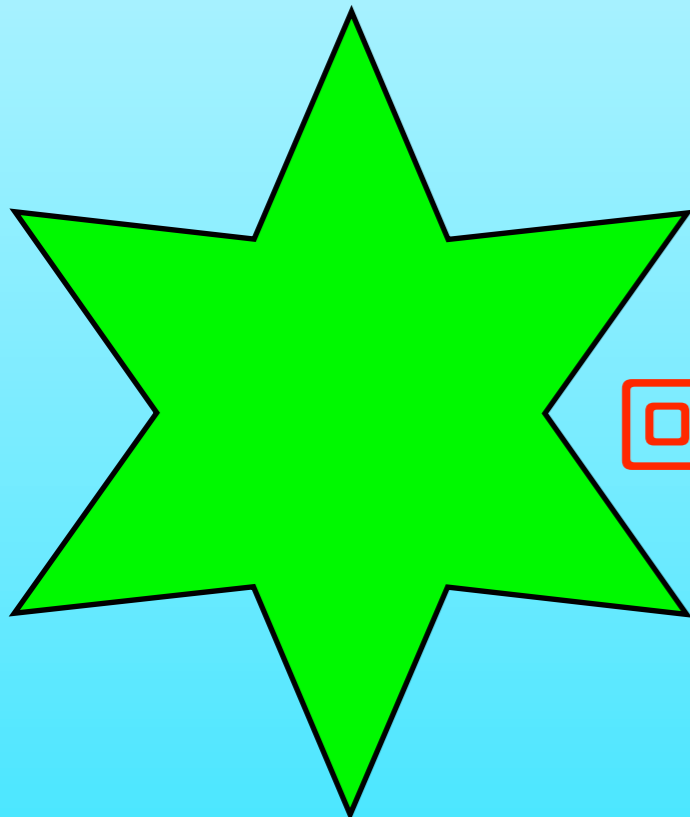
Symmetry

「いろいろな対称操作」

回転角：120度、240度、360度



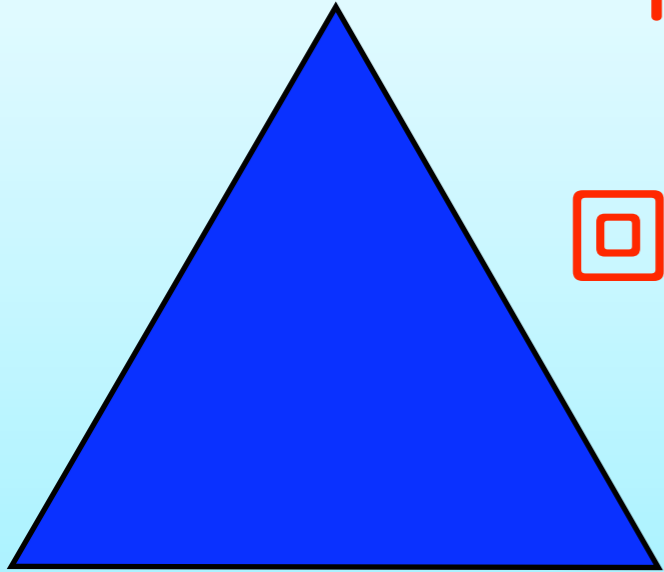
回転角：60度、120度、180度、
240度、300度、360度



Symmetry

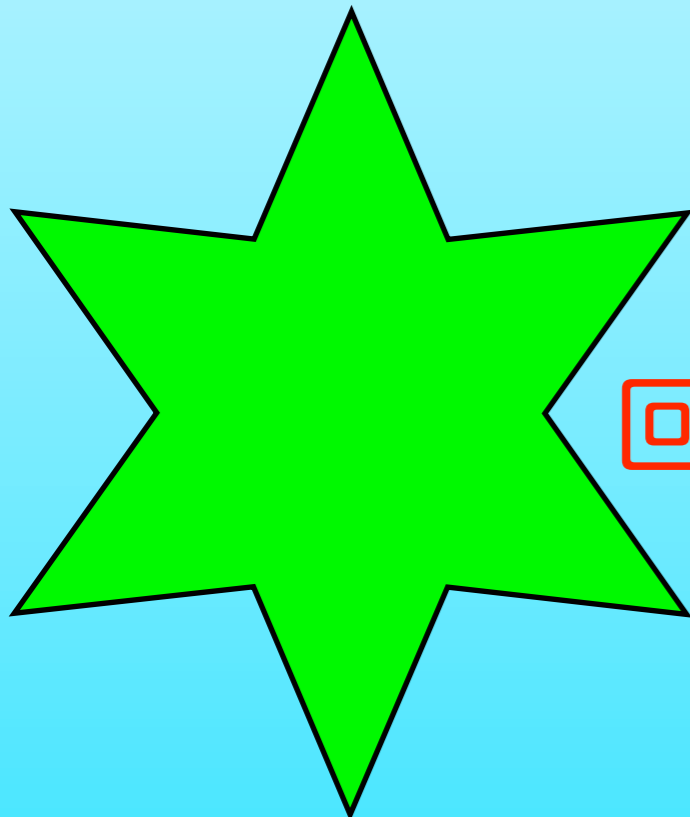
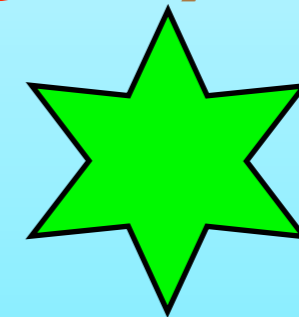
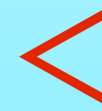
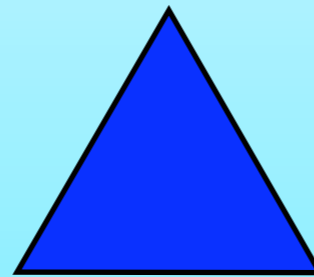
「いろいろな対称操作」

回転角：120度、240度、360度



low symmetry

high symmetry



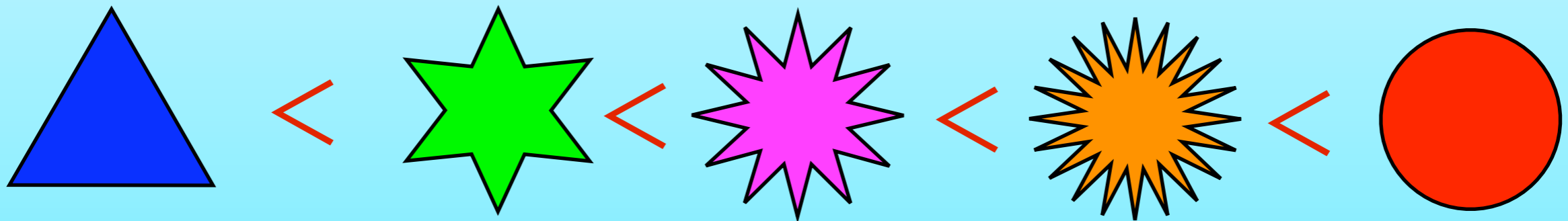
回転角：60度、120度、180度、
240度、300度、360度

対称性の定量化

「いろいろな対称操作」

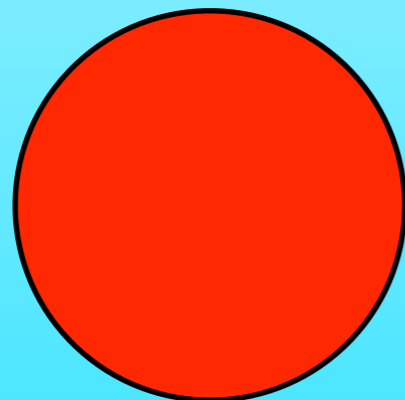
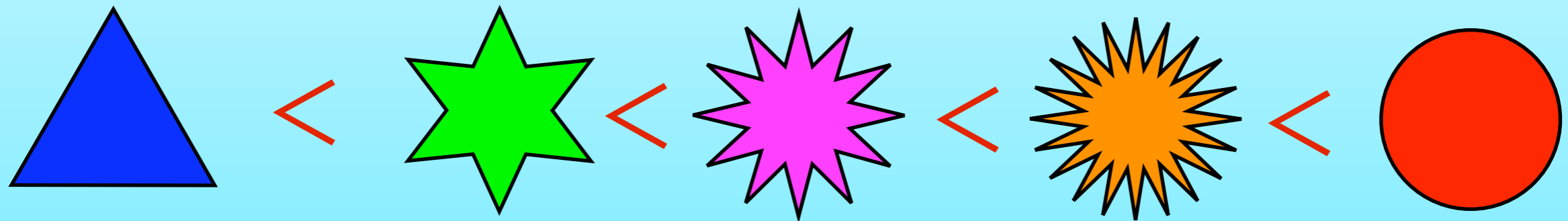
対称性の定量化

「いろいろな対称操作」



対称性の定量化

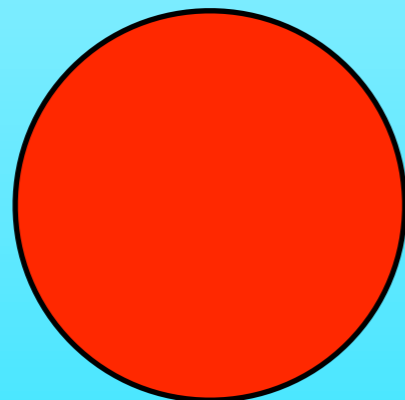
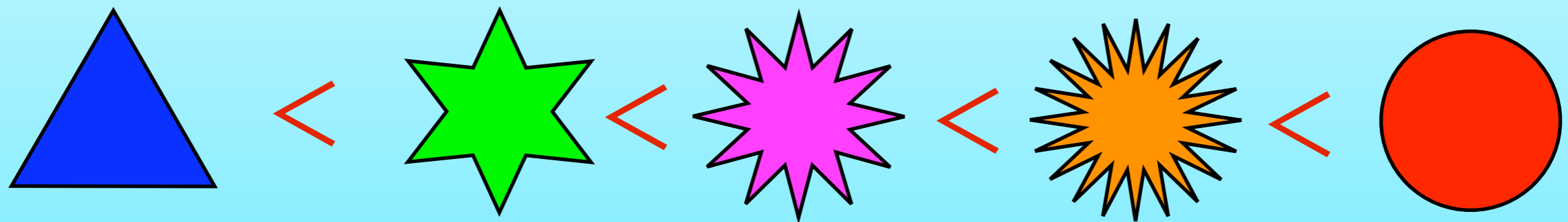
「いろいろな対称操作」



「連続対称性」

対称性の定量化

「いろいろな対称操作」



「連続対称性」

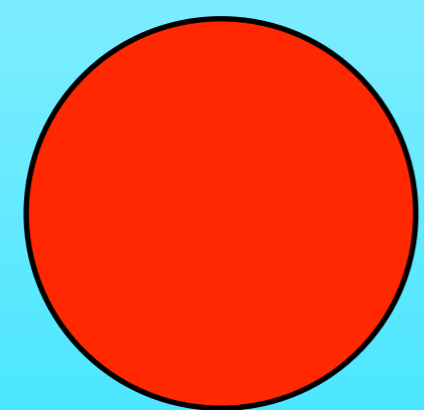
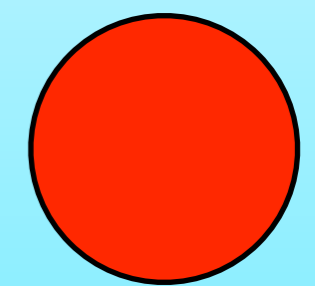
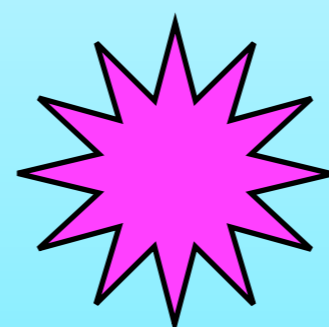
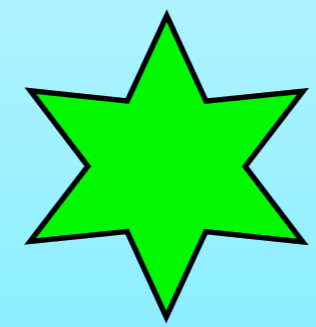
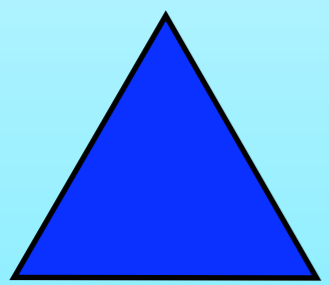
Nambu-Goldston Boson

対称性の定量化

「いろいろな対称操作」

low symmetry

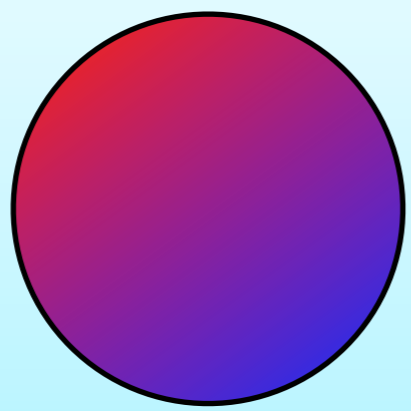
high symmetry



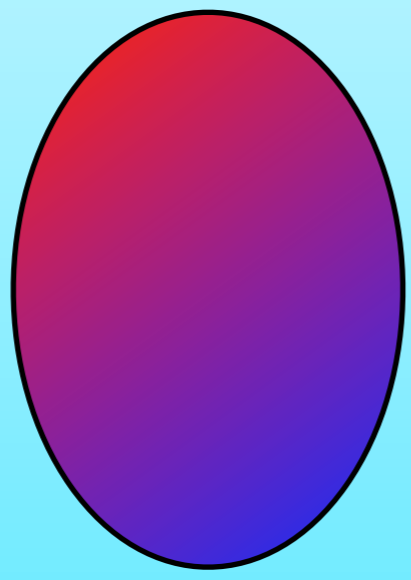
「連続対称性」

Nambu-Goldston Boson

対称性の低下と対称性の破れ



high symmetry



low symmetry

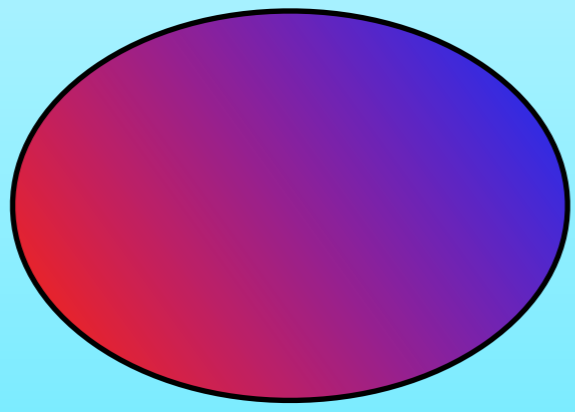
対称性の低下と対称性の破れ

OK!



high symmetry

No good!



low symmetry

90度回転

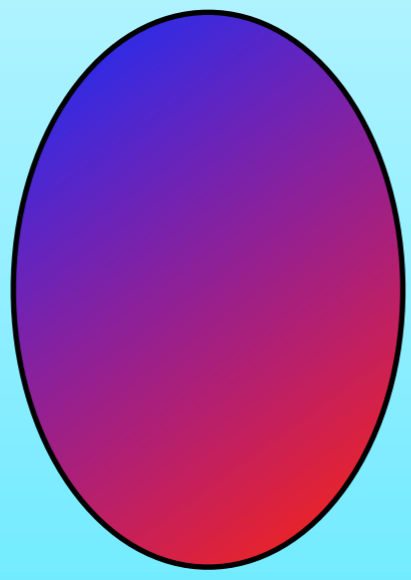
対称性の低下と対称性の破れ

OK!



high symmetry

OK!



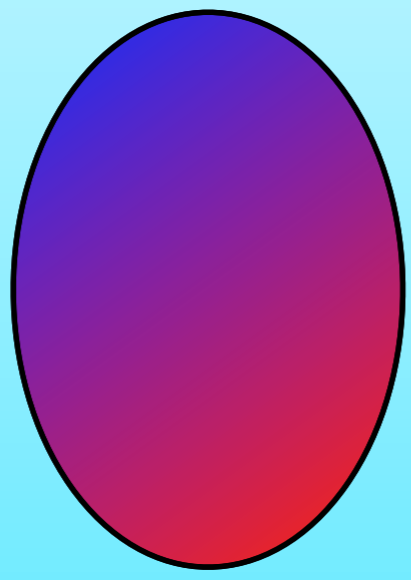
low symmetry

180度回転

対称性の低下と対称性の破れ



high symmetry

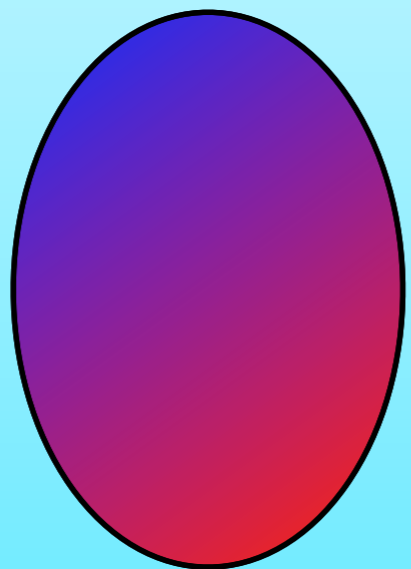


low symmetry

対称性の低下と対称性の破れ



high symmetry

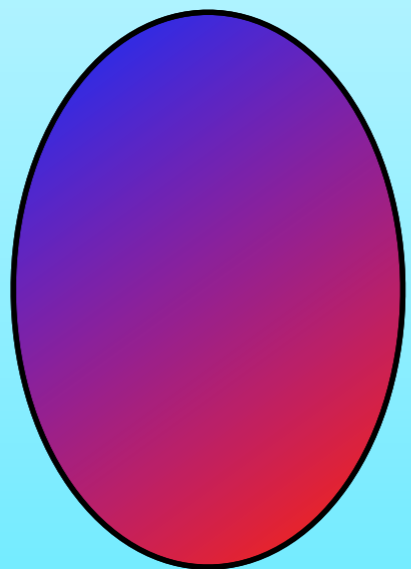


low symmetry

対称性の低下と対称性の破れ

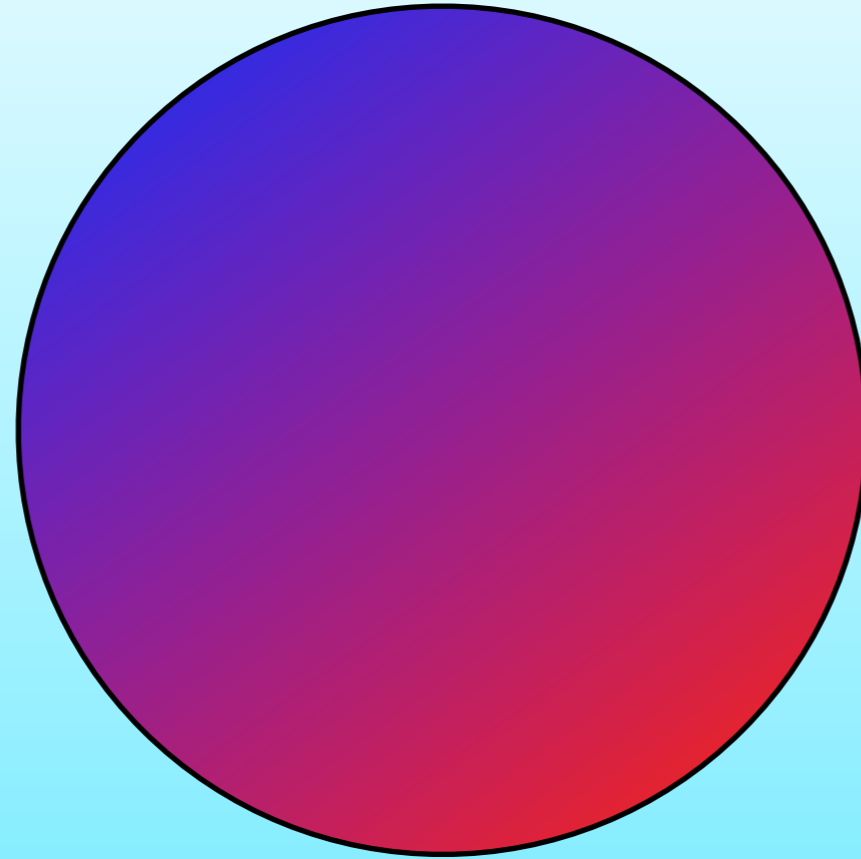


high symmetry

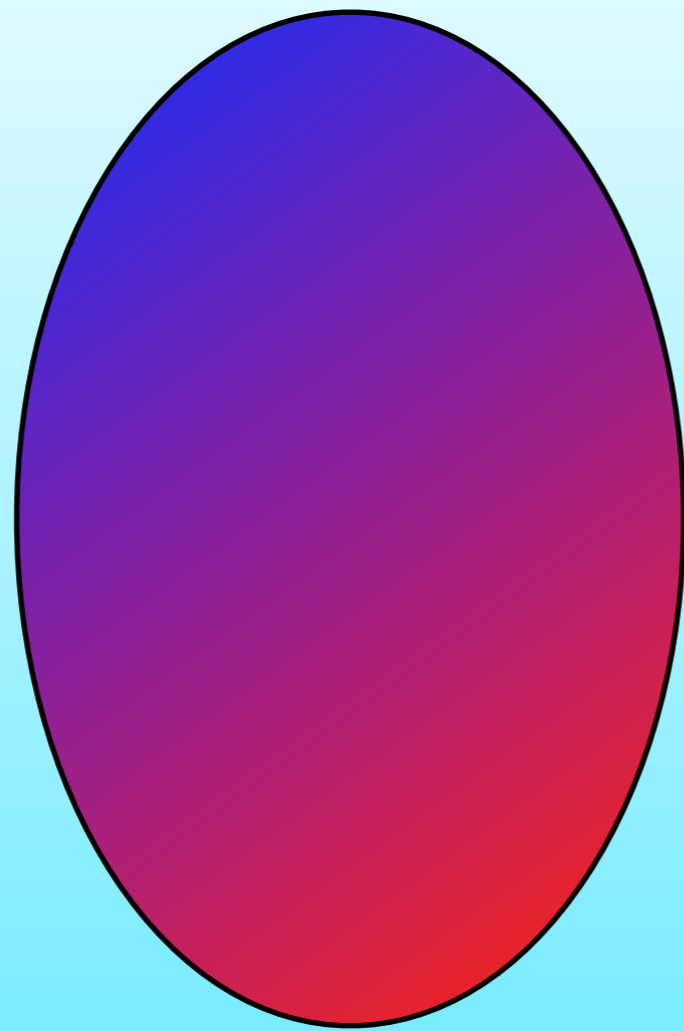


low symmetry

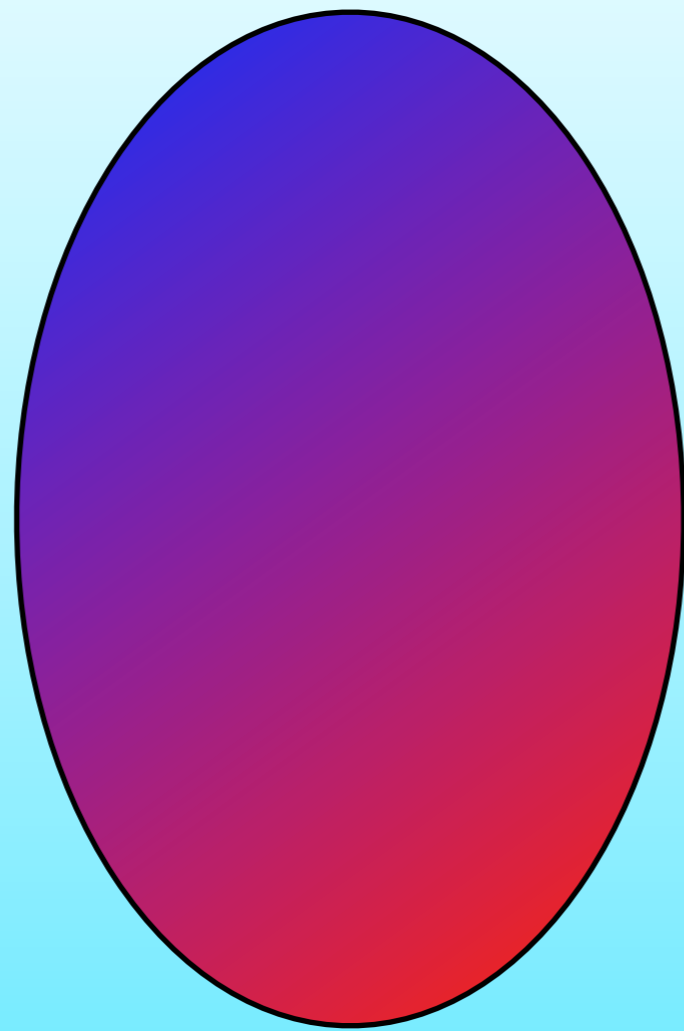
対称性の低下と対称性の破れ



対称性の低下と対称性の破れ

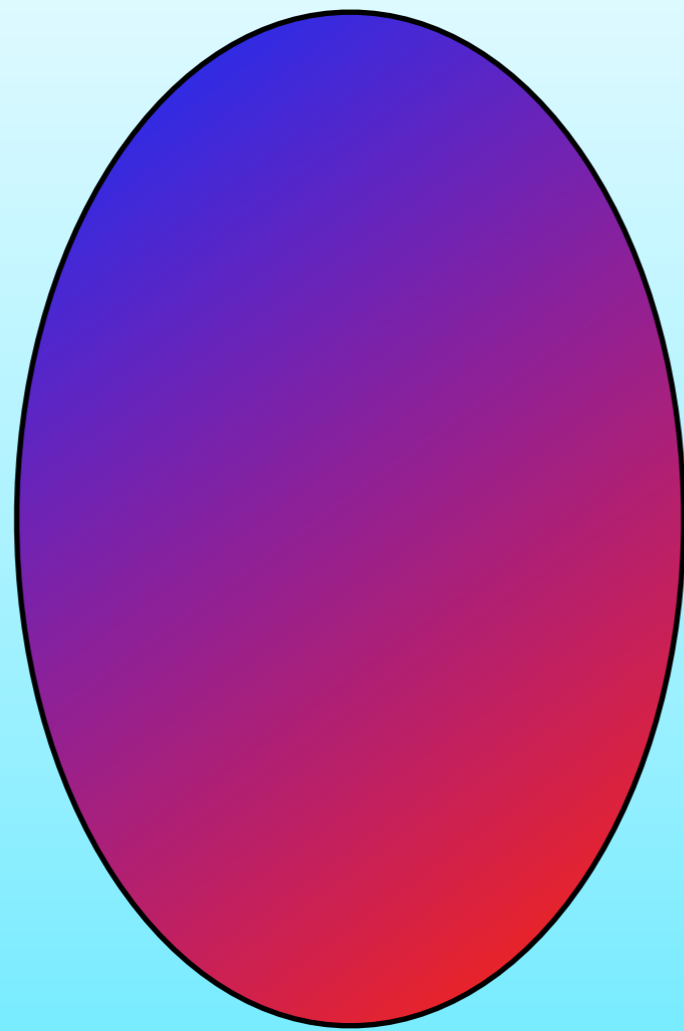


対称性の低下と対称性の破れ



対称性の低下

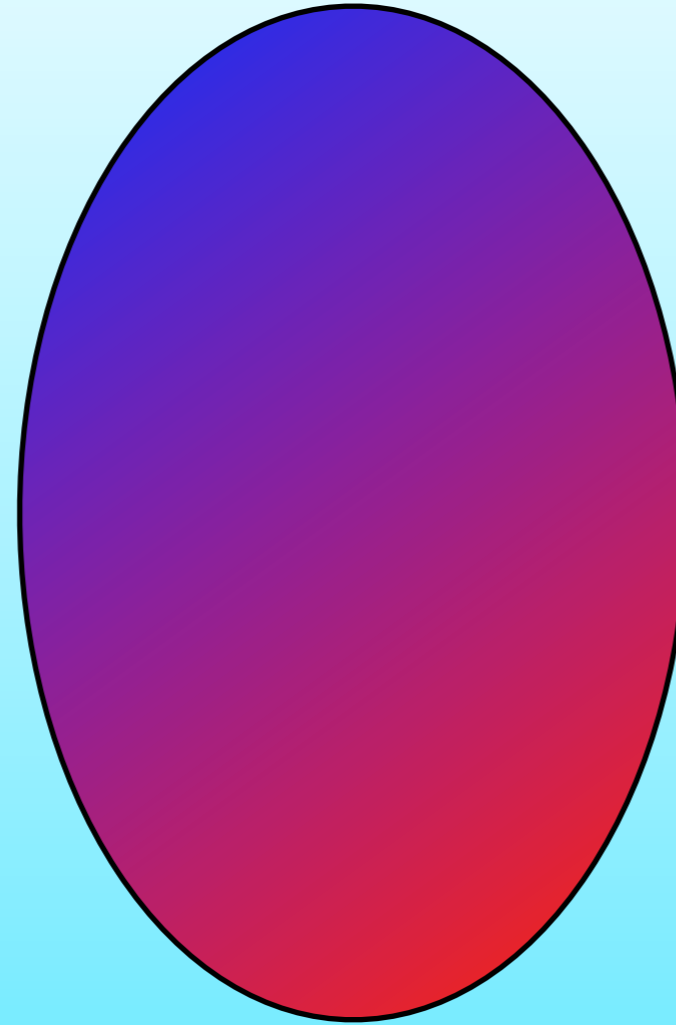
対称性の低下と対称性の破れ



対称性の低下

対称性の破れ

対称性の低下と対称性の破れ

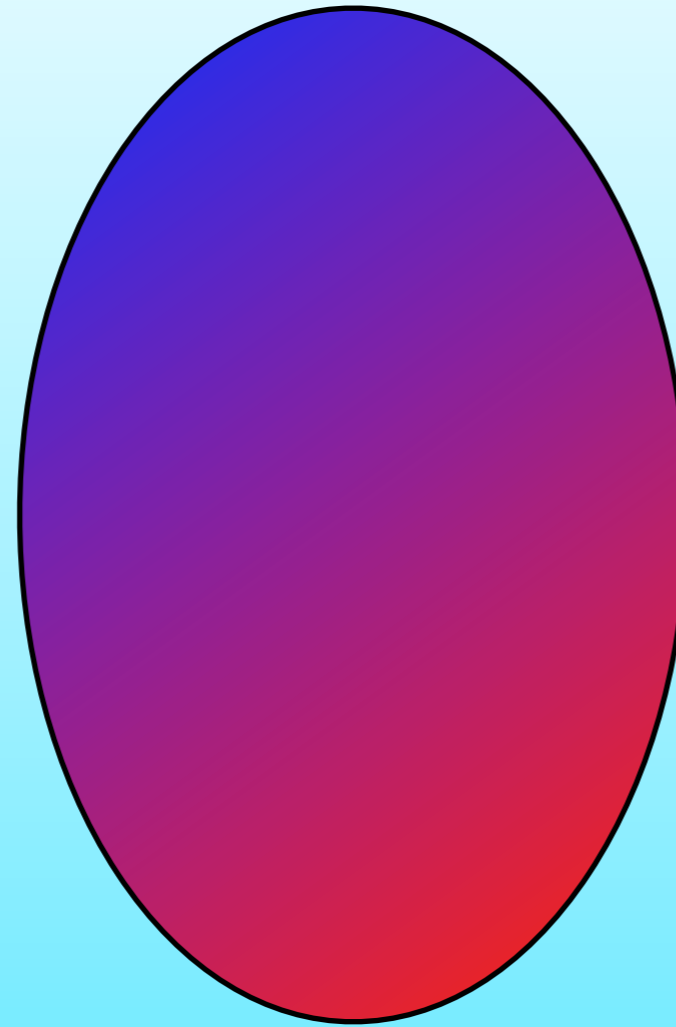


対称性の低下

対称性の破れ

Broken Symmetry

対称性の低下と対称性の破れ



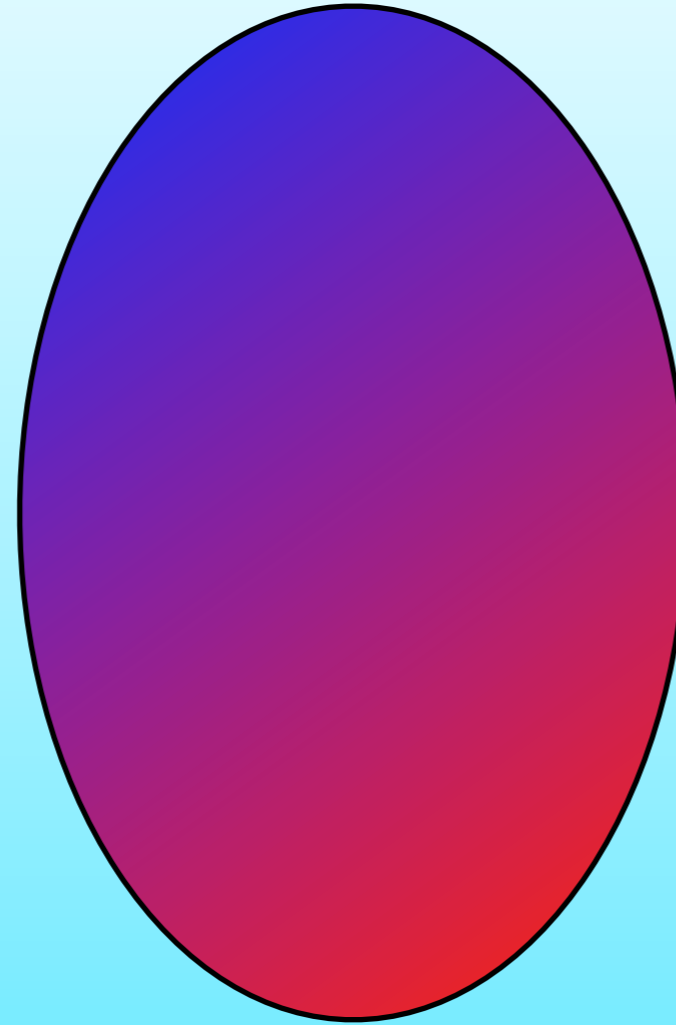
対称性の低下

対称性の破れ

Broken Symmetry

Break down of Continuous Symmetry

対称性の低下と対称性の破れ



対称性の低下

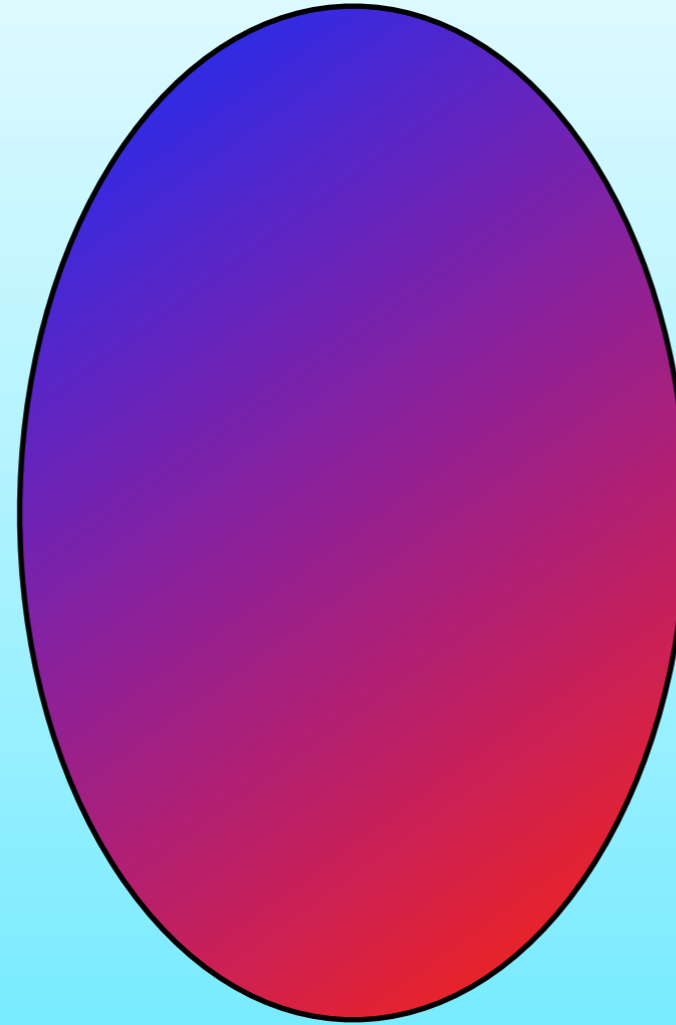
対称性の破れ

Broken Symmetry

Break down of Continuous Symmetry

連続対称性の破れ

対称性の低下と対称性の破れ



対称性の低下

対称性の破れ

Broken Symmetry

Break down of Continuous Symmetry

連続対称性の破れ

自発的? *Spontaneous?*

物理学としての物質科学：物性物理学

★ 物性物理学 = 凝縮系物理学 = 物の性質と特性

★ *Condensed Matter Physics*

★ 物質の多様な形態（相）を研究する

Phase

★ 水の三態（液体、気体、固体）

★ 磁石はなぜ磁力ももつのか？

★ なぜ水は透明か？

★ ルビーはなぜ赤い？

★ ...

★ 金属はなぜ電気を通す

★ 陶器はなぜ絶縁体なのか

★ 金、銀はなぜキラキラする？

★ ダイヤモンドと鉛筆の違いは？

★ 物質における種々多様な現象する

★ 蛍光灯はなぜ光る。信号機の赤青黄はどうやってつくられる？

★ どうやってCDに書きこむのか

★ トランジスタってなに？？（パソコンはどうしてお利口？？）

物性物理学 とはなにか (続き) ?

- ★ (量子) 統計力学をその基礎とする
 - ★ 多数の粒子が集まったときの物理的振る舞いの理解
 - ★ 温度とはなにか?
 - ★ 「相」とはなにか?
 - ★ 物質相の変化としての相転移
- ★ 凝縮系物理学は物質科学の基盤
 - ★ 化学、材料科学、工学、生物学の物質的基礎
- ★ 凝縮系物理学は現代の科学文明の基礎
 - ★ 現代社会の物質的基礎
 - ★ 環境問題、生命科学、すべての物質的基礎

現代の 物性物理学

- ★ 「量子論的物性物理学」
- ★ 量子力学的物質相
 - ★ 「量子相」 「量子相転移」
 - ★ 量子液体相、スピン液体相
 - ★ ナノワールドにおける現象はすべて量子力学による記述を要求
- ★ 実験室で実験可能な量子力学的現象
 - ★ 超伝導、超流動、レーザー、ボーズ凝縮、量子ホール効果
 - ★ 磁石、スピンの存在
 - ★ アハロノフ・ボーム効果、ベリー位相
- ★ 量子計算機の物質的基礎。
 - ★ スピンによる量子ビット
 - ★ 量子ホール系を用いた量子干渉デバイス

物理学の中の 物性物理学

★ ノーベル物理学賞 (凝縮系物理学)

年	受賞者	受賞理由
2006	ジョン C. マザー	宇宙マイクロ波背景放射の揺らぎの発見
	ジョージ F. スムート	
2005	ロイ J. グラウバー	光のコヒーレンスの量子理論への貢献
	ジョン L. ホール	
	テオドール W. ヘンシュ	
2004	デヴィッド J. グロス	強い相互作用の理論における漸近的自由の発見
	H. デヴィッド ポリツァー	
	フランク ウィルチェック	
2003	アレクセイ A. アブリコソフ	超伝導と超流動の理論に関する先駆的貢献
	ヴィクトリー L. ギンツブルク	
	アンソニー J. レグgett	
2002	小柴 昌俊	天体物理学、特に宇宙ニュートリノの検出へのパイオニア的貢献
	レイモンド デイヴィス	
	リカルド ジャコーニ	宇宙X線源の発見を導いた天体物理学へのパイオニア的貢献
2001	エリック A. コーネル	希薄なアルカリ原子ガスでのボーズアインシュタイン凝縮の実現と基礎的な研究
	ウルフガング ケターレ	
	カール E. ワイマン	
2000	ジャック キルビー	集積回路の発明
	ハーバート クロマー	高速エレクトロニクスおよび光エレクトロニクスに利用される半導体のヘテロ構造の開発
	ジョレス アルフォーロフ	
1999	ヘラルドゥス ヘットホーフト	電弱相互作用の量子論的な構造の解明
	E. マルティヌス フェルトマン	

1998	ホルスト L. シュテルマー	分数電荷の励起が存在する量子流体の新しい状態の発見
	ダニエル C. ツーイ	
	ロバート B. ラフリン	
1997	スティーブン チュー	レーザーを用いて原子を極低温に冷却する技術の開発
	クロード コーエン タヌジ	
	ウィリアム D. フィリップス	
1996	デービッド M. リー	ヘリウム3の超流動の発見
	ロバート C. リチャードソン	
	ダグラス D. オシェロフ	
1995	マーティン L. パール	レプトン(軽粒子)物理学の先駆的実験
	フレデリック ライネス	
1994	C. G. シャル	高密度物質研究のための中性子散乱技術の開発
	B. N. ブロックハウス	
1993	R. A. ハルス	連星パルサーの発見
	J. H. テイラー	
1992	G. シャルバック	素粒子実験用の多線式比例計数箱の開発
1991	P.-G. ドジャンヌ	より複雑な高分子、液晶、超伝導磁性材料の相転移現象の数学的研究
1990	R. E. テイラー	原子と重水素核による電子の深部非弾性散乱に関する研究
	J. I. フリードマン	
	H. W. ケンドール	
1989	H. G. デーメルト	高精度原子分光法の開発
	W. パウル	
	N. F. ラムゼー	

1988	L. M. レーダーマン	μニュートリノの発見とレプトンの2重構造の実証
	M. シュワルツ	
	J. スタインバーガー	
1987	K. A. ミュラー	酸化物高温超伝導体の発見
	J. G. ベドノルツ	
1986	G. K. ビニッチ	走査型トンネル顕微鏡の開発
	H. ローラー	
	E. A. F. ルスカ	
1985	K. von クリッツィング	量子ホール効果の発見と物理定数の測定技術の開発
1984	C. ルビア	素粒子(W, Z粒子)の発見をもたらしたプロジェクトへの貢献
	S. ファンデルメーア	
1983	S. チャンドラセカール	星の進化、構造を知る上で重要な物理的過程の研究
	W. A. ファウラー	
1982	K. G. ウィルソン	物質の相転移に関連した臨界現象に関する理解
1981	N. ブレンベルゲン	レーザー分光学への寄与
	A. L. シャーロウ	
	K. M. B. シーグバーン	
1980	J. W. クローニン	中性K中間子崩壊における基本対称性の破れの発見
	V. L. フィッチ	
1979	S. ワインバーグ	中性カレントの予言、電磁相互作用と弱い相互作用の統一理論への寄与
	S. L. グラショウ	
	A. サラム	
1978	A. A. ベンジャス	宇宙マイクロ波背景放射の発見
	R. W. ウィルソン	
1977	P. L. カビッツァ	低温物理学における基礎的研究
1977	P. W. アンダーソン	磁性体と無秩序系の電子構造の理論的研究
	N. F. モット	
	J. H. ヴァングレック	

物理学の中の 物性物理学

★ ノーベル物理学賞 (凝縮系物理学)

光の量子論

年	受賞者	受賞理由
2006	ジョン C. マザー	光の量子論の発見
	ジョージ F. スムート	
2005	ロイ J. グラウバー	光前線レーザーを用いた精密分光の発展への貢献
	ジョン L. ホール	
	テオドール W. ヘンシュ	
2004	デヴィッド J. グロス	強い相互作用の理論における漸近的自由の発見
	H. デヴィッド ポリツァー	
	フランク ウィルチェック	
2003	アレクセイ A. アブリコソフ	超伝導と超流動の理論に関する先駆的貢献
	ヴィクトリー L. ギンツブルク	
	アンソニー J. レグgett	
2002	小柴 昌俊	天体物理学、特に宇宙ニュートリノの検出へのパイオニア的貢献
	レイモンド デイヴィス	
	リカルド ジャコーニ	宇宙X線源の発見を導いた天体物理学へのパイオニア的貢献
2001	エリック A. コーネル	希薄なアルカリ原子ガスでのボーズアインシュタイン凝縮の実現と基礎的な研究
	ウルフガング ケターレ	
	カール E. ワイマン	
2000	ジャック キルビー	集積回路の発明
	ハーバート クローマー	高速エレクトロニクスおよび光エレクトロニクスに利用される半導体のヘテロ構造の開発
	ジョレス アルフォーロフ	
1999	ヘラルドゥス ヘットホーフト	電弱相互作用の量子論的な構造の解明
	E. マルティヌス フェルトマン	

1998	ホルスト L. シュテルマー	分数電荷の励起が存在する量子流体の新しい状態の発見
	ダニエル C. ツーイ	
	ロバート B. ラフリン	
1997	スティーブン チュー	レーザーを用いて原子を極低温に冷却する技術の開発
	クロード コーエン タヌジ	
	ウィリアム D. フィリップス	
1996	デービッド M. リー	ヘリウム3の超流動の発見
	ロバート C. リチャードソン	
	ダグラス D. オシェロフ	
1995	マーティン L. パール	レプトン(軽粒子)物理学の先駆的実験
	フレデリック ライネス	
1994	C. G. シャル	高密度物質研究のための中性子散乱技術の開発
	B. N. ブロックハウス	
1993	R. A. ハルス	連星パルサーの発見
	J. H. テイラー	
1992	G. シャルバック	素粒子実験用の多線式比例計数箱の開発
1991	P.-G. ドジャンヌ	より複雑な高分子、液晶、超伝導磁性材料の相転移現象の数学的研究
1990	R. E. テイラー	原子と重水素核による電子の深部非弾性散乱に関する研究
	J. I. フリードマン	
	H. W. ケンドール	
1989	H. G. デーメルト	高精度原子分光法の開発
	W. パウル	
	N. F. ラムゼー	

1988	L. M. レーダーマン	μニュートリノの発見とレプトンの2重構造の実証
	M. シュワルツ	
	J. スタインバーガー	
1987	K. A. ミュラー	酸化物高温超伝導体の発見
	J. G. ベドノルツ	
1986	G. K. ビニッチ	走査型トンネル顕微鏡の開発
	H. ローラー	
	E. A. F. ルスカ	
1985	K. von クリッツィング	量子ホール効果の発見と物理定数の測定技術の開発
1984	C. ルビア	素粒子(W、Z粒子)の発見をもたらしたプロジェクトへの貢献
	S. ファンデルメーア	
1983	S. チャンドラセカール	星の進化、構造を知る上で重要な物理的過程の研究
	W. A. ファウラー	
1982	K. G. ウィルソン	物質の相転移に関連した臨界現象に関する理解
1981	N. ブレンベルゲン	レーザー分光学への寄与
	A. L. シャーロウ	
	K. M. B. シーグバーン	
1980	J. W. クローニン	中性K中間子崩壊における基本対称性の破れの発見
	V. L. フィッチ	
1979	S. ワインバーグ	中性カレントの予言、電磁相互作用と弱い相互作用の統一理論への寄与
	S. L. グラショウ	
	A. サラム	
1978	A. A. ベンジアス	宇宙マイクロ波背景放射の発見
	R. W. ウィルソン	
1977	P. L. カビッツァ	低温物理学における基礎的研究
	P. W. アンダーソン	
	N. F. モット	
	J. H. ヴァングレック	

物理学の中の 物性物理学

★ ノーベル物理学賞 (凝縮系物理学)

光の量子論

異方的超伝導と超流動

年	受賞者	受賞理由
2006	ジョン C. マザー	光の量子論の発展への貢献
	ジョージ F. スムート	
2005	ロイ J. グラウバー	レーザーを用いた精密分光の発展への貢献
	ジョン L. ホール	
	テオドール W. ヘンシュ	
2004	デヴィッド J. グロス	強い相互作用の理論的計算の発展への貢献
	H. デヴィッド ポリツァー	
	フランク ウィルチェ	
2003	アレクセイ A. アブリコソフ	超伝導現象の理論的説明への貢献
	ヴィクトリー L. ギンツブルグ	
	アンソニー J. レグgett	
2002	小柴 昌俊	天体物理学、特に宇宙ニュートリノの検出へのパイオニア的貢献
	レイモンド デイヴィス	
	リカルド ジャコーニ	
2001	エリック A. コーネル	希薄なアルカリ原子ガスでのボーズアインシュタイン凝縮の実現と基礎的な研究
	ウルフガング ケターレ	
	カール E. ワイマン	
2000	ジャック キルビー	集積回路の発明
	ハーバート クロマー	
	ジョレス アルフォーロフ	
1999	ヘラルドゥス ヘットホーフト	電弱相互作用の量子論的な構造の解明
	E. マルティヌス フェルトマン	

1998	ホルスト L. シュテルマー	分数電荷の励起が存在する量子流体の新しい状態の発見
	ダニエル C. ツーイ	
	ロバート B. ラフリン	
1997	スティーブン チュー	レーザーを用いて原子を極低温に冷却する技術の開発
	クロード コーエン タヌジ	
	ウィリアム D. フィリップス	
1996	デービッド M. リー	ヘリウム3の超流動の発見
1994	C. G. シャル	高密度物質研究のための中性子散乱技術の開発
	B. N. ブロックハウス	
1993	R. A. ハルス	連星パルサーの発見
	J. H. テイラー	
1992	G. シャルバック	素粒子実験用の多線式比例計数箱の開発
1991	P.-G. ドジャンヌ	より複雑な高分子、液晶、超伝導磁性材料の相転移現象の数学的研究
1990	R. E. テイラー	原子と重水素核による電子の深部非弾性散乱に関する研究
	J. I. フリードマン	
	H. W. ケンドール	
1989	H. G. デーメルト	高精度原子分光法の開発
	W. バウル	
	N. F. ラムゼー	

1988	L. M. レーダーマン	μニュートリノの発見とレプトンの2重構造の実証
	M. シュワルツ	
	J. スタインバーガー	
1987	K. A. ミュラー	酸化物高温超伝導体の発見
	J. G. ベドノルツ	
1986	G. K. ビニッチ	走査型トンネル顕微鏡の開発
	H. ローラー	
	E. A. F. ルスカ	
1985	K. von クリッツィング	量子ホール効果の発見と物理定数の測定技術の開発
1984	C. ルビア	素粒子(W、Z粒子)の発見をもたらしたプロジェクトへの貢献
	S. ファンデルメーア	
1983	S. チャンドラセカール	星の進化、構造を知る上で重要な物理的過程の研究
	W. A. ファウラー	
1982	K. G. ウィルソン	物質の相転移に関連した臨界現象に関する理解
1981	N. ブレンベルゲン	レーザー分光学への寄与
	A. L. シャーロウ	
	K. M. B. シーグバーン	
1980	J. W. クローニン	中性K中間子崩壊における基本対称性の破れの発見
	V. L. フィッチ	
1979	S. ワインバーグ	中性カレントの予言、電磁相互作用と弱い相互作用の統一理論への寄与
	S. L. グラショウ	
	A. サラム	
1978	A. A. ベンジャス	宇宙マイクロ波背景放射の発見
	R. W. ウィルソン	
1977	P. L. カビッツァ	低温度物理学における基礎的研究
	P. W. アンダーソン	
	N. F. モット	
	J. H. ヴァングレック	

物理学の中の 物性物理学

★ ノーベル物理学賞 (凝縮系物理学)

光の量子論

異方的超伝導と超流動

原子のボーズ凝縮

年	受賞者	受賞理由
2006	ジョン C. マザー	光の量子論
	ジョージ F. スムート	
2005	ロイ J. グラウバー	レーザーを用いた精密分光の発展への貢献
	ジョン L. ホール	
	テオドール W. ヘンシュ	
2004	デヴィッド J. グロス	強い相互作用の理論的計算の発展
	H. デヴィッド ポリツァー	
	フランク ウィルチェ	
2003	アレクセイ A. アブリコソフ	レプトン(軽粒子)物理学の先駆的実験
	ヴィクトリー L. ギンツブルグ	
	アンソニー J. レグgett	
2002	小柴 昌俊	天体物理学、特に超新星とニュートリノの検出
	レイモンド デイヴィッドソン	
	リカルド J. オスカーソン	
2001	エリック A. フォーム	インシュレーション転移の実験と基礎的な研究
	ウルフガング ケターレ	
	カール E. ワイマン	
2000	ジャック キルビー	集積回路の発明
	ハーバート クロマー	高速エレクトロニクスおよび光エレクトロニクスに利用される半導体のヘテロ構造の開発
	ジョレス アルフォーロフ	
1999	ヘラルドゥス ヘットホーフト	電弱相互作用の量子論的な構造の解明
	E. マルティヌス フェルトマン	

1998	ホルスト L. シュテルマー	分数電荷の励起が存在する量子流体の新しい状態の発見
	ダニエル C. ツーイ	
	ロバート B. ラフリン	
1997	スティーブン チュー	レーザーを用いて原子を極低温に冷却する技術の開発
	クロード コーエン タヌジ	
	ウィリアム D. フィリップス	
1996	デービッド M. リー	ヘリウム3の超流動の発見
1994	C. G. シャル	高密度物質研究のための中性子散乱技術の開発
	B. N. ブロックハウス	
	R. A. ハルス	
1991	G. シャルバック	素粒子実験用の多線式比例計数箱の開発
	P.-G. ドジャンヌ	
	R. E. テイラー	
1990	J. I. フリードマン	原子と重水素核による電子の深部非弾性散乱に関する研究
	H. W. ケンドール	
	H. G. デーメルト	
1989	W. バウル	高精度原子分光法の開発
	N. F. ラムゼー	

1988	L. M. レーダーマン	μニュートリノの発見とレプトンの2重構造の実証
	M. シュワルツ	
	J. スタインバーガー	
1987	K. A. ミュラー	酸化物高温超伝導体の発見
	J. G. ベドノルツ	
1986	G. K. ビニッチ	走査型トンネル顕微鏡の開発
	H. ローラー	
	E. A. F. ルスカ	
1985	K. von クリッツィング	量子ホール効果の発見と物理定数の測定技術の開発
1984	C. ルビア	素粒子(W, Z粒子)の発見をもたらしたプロジェクトへの貢献
	S. ファンデルメーア	
1983	S. チャンドラセカール	星の進化、構造を知る上で重要な物理的過程の研究
	W. A. ファウラー	
1982	K. G. ウィルソン	物質の相転移に関連した臨界現象に関する理解
1981	N. ブレンベルゲン	レーザー分光学への寄与
	A. L. シャーロウ	
	K. M. B. シーグバーン	
1980	J. W. クローニン	中性K中間子崩壊における基本対称性の破れの発見
	V. L. フィッチ	
1979	S. ワインバーグ	中性カレントの予言、電磁相互作用と弱い相互作用の統一理論への寄与
	S. L. グラショウ	
	A. サラム	
1978	A. A. ベンジアス	宇宙マイクロ波背景放射の発見
	R. W. ウィルソン	
1977	P. L. カビッツァ	低温物理学における基礎的研究
1977	P. W. アンダーソン	磁性体と無秩序系の電子構造の理論的研究
	N. F. モット	
	J. H. ヴァングレック	

物理学の中の 物性物理学

★ ノーベル物理学賞 (凝縮系物理学)

光の量子論

異方的超伝導と超流動

原子のボーズ凝縮

半導体ヘテロ構造

1988	L.M.レーダーマン M.シュワルツ J.スタインバーガー	μ ニュートリノの発見とレプトンの2重構造の実証
1987	K.A.ミューラー J.G.ベドノルツ	酸化物高温超伝導体の発見
1986	G.K.ビニッチ H.ローラー E.A.F.ルスカ	走査型トンネル顕微鏡の開発 電子顕微鏡に関する基礎研究と開発
1985	K. von クリッツィング	量子ホール効果の発見と物理定数の測定技術の開発
1984	C.ルビア S.ファンデルメーア	素粒子(W, Z粒子)の発見をもたらしたプロジェクトへの貢献
1983	S.チャンドラセカール W.A.ファウラー	星の進化、構造を知る上で重要な物理的過程の研究
1982	K.G.ウィルソン	物質の相転移に関連した臨界現象に関する理解
1981	N.ブレンベルゲン A.L.シャーロウ K.M.B.シーグバーン	レーザー分光学への寄与 高分解能光電子分光法の開発
1980	J.W.クロニン V.L.フィッチ	中性K中間子崩壊における基本対称性の破れの発見
1979	S.ワインバーグ S.L.グラショウ A.サラム	中性カレントの予言、電磁相互作用と弱い相互作用の統一理論への寄与
1978	A.A.ベンジマス R.W.ウィルソン	宇宙マイクロ波背景放射の発見
1977	P.L.カビッツァ P.W.アンダーソン N.F.モット J.H.ヴァングレック	低温物理学における基礎的研究 磁性体と無秩序系の電子構造の理論的研究

年	受賞者	受賞理由
2006	ジョンC.マザー ジョージF.スムート	宇宙マイクロ波背景放射の発見
2005	ロイJ.グラウバー ジョンL.ホール テオドールW.ヘンシュ	レーザーを用いた精密分光の発展への貢献
2004	デヴィッドJ.グロス H.デヴィッド ポリツァー フランク ウィルチェ	強い相互作用の理論的基礎の確立
2003	アレクセイ A.アブリコソフ ヴィクトリー L.ギンツブルグ アンソニー J.レグgett	レプトン(軽粒子)物理学の先駆的実験
2002	小柴 昌俊 レイモンド デイヴィッドソン リカルド ジョセフ エンリケ	天体物理学、特に中性ニュートリノの検出
2001	エリック A.フレイスマン ウルフガング ケターレ カール E.ワイマン	インシチュアブル凝縮の実験と基礎的な研究
2000	ジャック キルビ ハーバート クロマー ジョレス アルフォーロフ	半導体ヘテロ構造の開発
1999	ヘラルドゥス ヘットホーフト E.マルティヌス フェルトマン	電弱相互作用の量子論的な構造の解明
1998	ホルスト L.シュテルマー ダニエル C.ツイー ロバート B.ラフリン	分数電荷の励起が存在する量子流体の新しい状態の発見
1997	スティーブン チュー クロード コーエンタヌジ ウィリアム D.フィリップス	レーザーを用いて原子を極低温に冷却する技術の開発
1996	デービッド M.リー ロバート H.オーストリン	ヘリウム3の超流動の発見
1994	C.G.シャル B.N.ブロックハウス R.A.ハルス ロバート H.テイラー	高密度物質研究のための中性子散乱技術の開発 連星パルサーの発見
1991	P.-G.ドジャンヌ R.E.テイラー ジョン H.ワグネル クリストフ リードマン H.W.ケンドール	より複雑な高分子、液晶、超伝導磁性材料の相転移現象の数学的研究 原子と重水素核による電子の深部非弾性散乱に関する研究
1989	H.G.デーメルト W.パウル N.F.ラムゼー	高精度原子分光法の開発

物理学の中の 物性物理学

★ ノーベル物理学賞 (凝縮系物理学)

量子ホール効果
における分数電荷

光の量子論

異方的超伝導と超流動

原子のボーズ凝縮

半導体ヘテロ構造

1988	L.M.レーダーマン M.シュワルツ J.スタインバーガー	μ ニュートリノの発見とレプトンの2重構造の実証
1987	K.A.ミューラー	酸化物高温超伝導体の発見
	E.A.F.ルスカ	電子顕微鏡に関する基礎研究と開発
1985	K. von クリッツィング	量子ホール効果の発見と物理定数の測定技術の開発
1984	C.ルビア S.ファンデルメーア	素粒子(W, Z粒子)の発見をもたらしたプロジェクトへの貢献
1983	S.チャンドラセカール W.A.ファウラー	星の進化、構造を知る上で重要な物理的過程の研究
1982	K.G.ウィルソン	物質の相転移に関連した臨界現象に関する理解
1981	N.ブレンベルゲン A.L.シャーロウ K.M.B.シーグバーン	レーザー分光学への寄与 高分解能光電子分光法の開発
1980	J.W.クロニン V.L.フィッチ	中性K中間子崩壊における基本対称性の破れの発見
1979	S.ワインバーグ S.L.グラショウ A.サラム	中性カレントの予言、電磁相互作用と弱い相互作用の統一理論への寄与
1978	A.A.ベンジマス R.W.ウィルソン	宇宙マイクロ波背景放射の発見
	P.L.カビッツァ	低温物理学における基礎的研究
1977	P.W.アンダーソン N.F.モット J.H.ヴァンヴレック	磁性体と無秩序系の電子構造の理論的研究

年	受賞者	受賞理由
2006	ジョンC.マザー ジョージF.スムート	宇宙マイクロ波背景放射の発見
2005	ロイJ.グラウバー ジョンL.ホール テオドールW.ヘンシュ	レーザーを用いた精密分光の発展への貢献
2004	デヴィッドJ.グロス H.デヴィッド ポリツァー フランク ウィルチェ	強い相互作用の理論的基礎の確立
2003	アレクセイ A.アブリコソフ ヴィクトリー L.ギンツブルグ アンソニー J.レグgett	レプトン(軽粒子)物理学の先駆的実験
2002	小柴 昌俊 レイモンド デイヴィッドソン リカルド ジョセフ エスクリバ	天体物理学、特に中性ニュートリノの検出
2001	エリック A.フレイスマン ウルフガング ケターレ カール E.ワイマン	インシチュアブル凝縮の実験と基礎的な研究
2000	ジャック キルビ ハーバート クロマー ジョレス アルフォーロフ	半導体ヘテロ構造の開発
1999	ヘラルドゥス ヘットホーフト E.マルティヌス フェルトマン	電弱相互作用の量子論的な構造の解明
1998	ホルスト L.シュテットリン ダニエル C.ジョーゼフソン ロバート B.ラフリン	超伝導の理論的基礎の確立
1997	スティーブン チュー クロード コーエンタヌジ ウィリアム D.フィリップス	レーザーを用いて原子を極低温に冷却する技術の開発
1996	デービッド M.リー ヘンリー クラウドソン	ヘリウム3の超流動の発見
1994	C.G.シャル B.N.ブロックハウス R.A.ハルス ロバート H.テイラー	高密度物質研究のための中性子散乱技術の開発 連星パルサーの発見
1991	P.-G.ドジャンヌ R.E.テイラー ジョン H.ワグネル クリストフ フリードマン H.W.ケンドール	より複雑な高分子、液晶、超伝導磁性材料の相転移現象の数学的研究 原子と重水素核による電子の深部非弾性散乱に関する研究
1989	H.G.デーメルト W.パウル N.F.ラムゼー	高精度原子分光法の開発

物理学の中の 物性物理学

★ ノーベル物理学賞 (凝縮系物理学)

量子ホール効果
における分数電荷

レーザー冷却

光の量子論

異方的超伝導と超流動

原子のボーズ凝縮

半導体ヘテロ構造

1988	L.M.レーダーマン M.シュワルツ J.スタインバーガー	μ ニュートリノの発見とレプトンの2重構造の実証
1987	K.A.ミューラー	酸化物高温超伝導体の発見
	S.A.エルスカ	走査型トンネル顕微鏡の開発
	S.A.エルスカ D.グ	電子顕微鏡に関する基礎研究と開発
	D.グ	量子ホール効果の発見と物理定数の測定技術の開発
	S.ファンデルメーア	素粒子(W、Z粒子)の発見をもたらしたプロジェクトへの貢献
1983	S.チャンドラセカール W.A.ファウラー	星の進化、構造を知る上で重要な物理的過程の研究
1982	K.G.ウィルソン	物質の相転移に関連した臨界現象に関する理解
1981	N.ブレンベルゲン A.L.シャーロウ K.M.B.シーグバーン	レーザー分光学への寄与 高分解能光電子分光法の開発
1980	J.W.クロニン V.L.フィッチ	中性K中間子崩壊における基本対称性の破れの発見
1979	S.ワインバーグ S.L.グラショウ A.サラム	中性カレントの予言、電磁相互作用と弱い相互作用の統一理論への寄与
1978	A.A.ベンジヤス R.W.ウィルソン	宇宙マイクロ波背景放射の発見
	P.L.カビッツァ	低温物理学における基礎的研究
1977	P.W.アンダーソン N.F.モット J.H.ヴァンヴレック	磁性体と無秩序系の電子構造の理論的研究

年	受賞者	受賞理由
2006	ジョンC.マザー ジョージF.スムート	宇宙マイクロ波背景放射の発見
2005	ロイJ.グラウバー ジョンL.ホール テオドールW.ヘンシュ	光周波数コムを用いた精密分光の発展への貢献
2004	デヴィッドJ.グロス H.デヴィッド ポリツァー フランク ウィルチェ	強い相互作用の理論的基礎の確立
2003	アレクセイ A.アブリコソフ ヴィクトリー L.ギンツブルグ アンソニー J.レグgett	レプトン(軽粒子)物理学の先駆的実験
2002	小柴 昌俊 レイモンド デイヴィッドソン リカルド ジョセフ エンリケ	天体物理学、特に中性ニュートリノの検出
2001	エリック A.フレイスマン ウルフガング ケターレ カール E.ワイマン	インシチュアブル凝縮の実験と基礎的な研究
2000	ジャック キルビ ハーバート クロマー ジョレス アルフォーロフ	半導体ヘテロ構造の開発
1999	ヘラルドゥス ヘットホーフト E.マルティヌス フェルトマン	電弱相互作用の量子論的な構造の解明
1998	ホルスト L.シュテットリン ダニエル C.リッペン ロバート B.ラフリン	ヘリウム3の超流動の発見
1997	スティーブ マウリ クロード コーエン ウィリアム D.ハークネス	レーザー冷却
1996	デービッド M.リー ロバート D.マードソン	ヘリウム3の超流動の発見
1994	C.G.シャル B.N.ブロックハウス R.A.ハルス ロバート H.テイラー	高密度物質研究のための中性子散乱技術の開発 連星パルサーの発見
1991	P.-G.ドジャンヌ R.E.テイラー ジョン H.ワグネル クリストフ リードマン H.W.ケンドール	より複雑な高分子、液晶、超伝導磁性材料の相転移現象の数学的研究 原子と重水素核による電子の深部非弾性散乱に関する研究
1989	H.G.デーメルト W.パウル N.F.ラムゼー	高精度原子分光法の開発

物理学の中の 物性物理学

★ ノーベル物理学賞 (凝縮系物理学)

量子ホール効果
における分数電荷

レーザー冷却

光の量子論

異方的超伝導と超流動

ヘリウムの超流動

原子のボーズ凝縮

半導体ヘテロ構造

1988	L.M.レーダーマン M.シュワルツ J.スタインバーガー	μ ニュートリノの発見とレプトンの2重構造の実証
1987	K.A.ミューラー	酸化物高温超伝導体の発見
		走査型トンネル顕微鏡の開発
	S.A.エルスカ	電子顕微鏡に関する基礎研究と開発
		量子ホール効果の発見と物理定数の測定技術の開発
		素粒子(W、Z粒子)の発見をもたらしたプロジェクトへの貢献
	S.ファンデルメーア	
1983	S.チャンドラセカール D.ファウラー	星の進化、構造を知る上で重要な物理的過程の研究
		物質の相転移に関連した臨界現象に関する理解
		レーザー分光学への寄与
	A.L.シャーロウ K.M.B.シーグバーン	高分解能光電子分光法の開発
1980	J.W.クロニン V.L.フィッチ	中性K中間子崩壊における基本対称性の破れの発見
1979	S.ワインバーグ S.L.グラشوウ A.サラム	中性カレントの予言、電磁相互作用と弱い相互作用の統一理論への寄与
1978	A.A.ベンジラス R.W.ウィルソン	宇宙マイクロ波背景放射の発見
	P.L.カビッツァ	低温物理学における基礎的研究
1977	P.W.アンダーソン N.F.モット J.H.ヴァンヴレック	磁性体と無秩序系の電子構造の理論的研究

1998	ホルストL.シュ ダニエルC ロバートB.ラフリン	
1997	スティーブ クロードコー ウィリアムD	
1996	デービッドM.リー	ヘリウム3の超流動の発見
1994	C.G.シャル B.N.ブロックハウス R.A.ハルス テイラー	高密度物質研究のための中性子散乱技術の開発 連星パルサーの発見
	G.シャルバック	素粒子実験用の多線式比例計数箱の開発
1991	P.-G.ドジャンヌ R.E.テイラー フリードマン	より複雑な高分子、液晶、超伝導磁性材料の相転移現象の数学的研究 原子と重水素核による電子の深部非弾性散乱に関する研究
	H.W.ケンドール	
1989	H.G.デーメルト W.パウル N.F.ラムゼー	高精度原子分光法の開発

年	受賞者	受賞理由
2006	ジョンC.マザー ジョージF.スムート	
2005	ロイJ.グラウバー ジョンL.ホール テオドールW.ヘンシュ	光前波の理論とレーザーを用いた精密分光の発展への貢献
2004	デヴィッドJ.グロス H.デヴィッド ポリツァー フランク ウィルチェ	強い相互作用の理論的基礎の確立
2003	アレクセイ A.アブリコソフ ヴィクトリー L.ギンツブルグ アンソニー J.レグgett	天体物理学、特に中性ニュートリノの検出
2002	小柴 昌俊 レイモンドデイヴィッド リカルドジ	天体物理学、特に中性ニュートリノの検出
2001	エリック A.コ ウルフガング ケターレ カール E.ワイマ	インシュレーション転移の発見と基礎的な研究
2000	ジャック キ ハーバートクロ ジョレスアルフォーロフ	半導体ヘテロ構造の開発
1999	ヘラルドゥス ヘットホーフト E.マルティヌスフェルトマン	電弱相互作用の量子論的な構造の解明

物理学の中の 物性物理学

★ ノーベル物理学賞 (凝縮系物理学)

量子ホール効果
における分数電荷

レーザー冷却

光の量子論

異方的超伝導と超流動

ヘリウムの超流動

原子のボーズ凝縮

半導体ヘテロ構造

高分子の統計力学

1988	L.M.レーダーマン M.シュワルツ J.スタインバーガー	μ ニュートリノの発見とレプトンの2重構造の実証
1987	K.A.ミューラー	酸化物高温超伝導体の発見
		走査型トンネル顕微鏡の開発
	S.A.エルスカ	電子顕微鏡に関する基礎研究と開発
		量子ホール効果の発見と物理定数の測定技術の開発
		素粒子(W、Z粒子)の発見をもたらしたプロジェクトへの貢献
	S.ファンデルメーア	
1983	S.チャンドラセカール D.ファウラー	星の進化、構造を知る上で重要な物理的過程の研究
		物質の相転移に関連した臨界現象に関する理解
		レーザー分光学への寄与
	A.L.シャーロウ K.M.B.シーグバーン	高分解能光電子分光法の開発
1980	J.W.クロニン V.L.フィッチ	中性K中間子崩壊における基本対称性の破れの発見
1979	S.ワインバーグ S.L.グラشوウ A.サラム	中性カレントの予言、電磁相互作用と弱い相互作用の統一理論への寄与
		宇宙マイクロ波背景放射の発見
		低温物理学における基礎的研究
1977	P.W.アンダーソン N.F.モット J.H.ヴァンヴレック	磁性体と無秩序系の電子構造の理論的研究

年	受賞者	受賞理由
2006	ジョンC.マザー ジョージF.スムート	光の量子論
2005	ロイJ.グラウバー ジョンL.ホール テオドールW.ヘンシュ	レーザー冷却
2004	デヴィッドJ.グロス H.デヴィッド ポリツァー フランク ウィルチェ	異方的超伝導と超流動
2003	アレクセイ A.アブリコソフ ヴィクトリー L.ギンツブルグ アンソニー J.レグgett	ヘリウムの超流動
2002	小柴 昌俊 レイモンド デイヴィッドソン リカルド ジョセフ エンリケ	原子のボーズ凝縮
2001	エリック A.フレイスマン ウルフガング ケターレ カール E.ワイマン	半導体ヘテロ構造
2000	ジャック キューリック ハーバート クロマー ジョレス アルフォーロフ	高分子の統計力学
1999	ヘラルドゥス ヘットホーフト E.マルティヌス フェルトマン	電弱相互作用の量子論的な構造の解明
1998	ホルスト L.シュテットリン ダニエル C.リッペン ロバート B.ラフリン	量子ホール効果における分数電荷
1997	スティーブ マウリッツ クロード コーエン ウィリアム D.ハム	レーザー冷却
1996	デービッド M.リー	ヘリウムの超流動
1994	C.G.シャル B.N.ブロックハウス R.A.ハルス ロバート E.テイラー	高密度物質研究のための中性子散乱技術の開発 連星パルサーの発見
1991	P.-G.ドジャンヌ R.E.テイラー	より複雑な高分子、液晶、超伝導磁性材料の相転移現象の数学的研究
1989	H.G.デーメルト W.バウル N.F.ラムゼー	原子のボーズ凝縮

物理学の中の 物性物理学

★ ノーベル物理学賞 (凝縮系物理学)

年	受賞者	受賞理由
2006	ジョン C. マザー ジョージ F. スムート	光の量子論
2005	ロイ J. グラウバー ジョン L. ホール テオドール W. ヘンシュ	レーザー冷却
2004	デヴィッド J. グロス H. デヴィッド ポリツァー フランク ウィルチーク	異方的超伝導と超流動
2003	アレクセイ A. アブリコソフ ヴィクトリー L. ギンツブルグ アンソニー J. レグgett	ヘリウムの超流動
2002	小柴 昌俊 レイモンド デイヴィッドソン リカルド ジョセフ エンリケ	原子のボーズ凝縮
2001	エリック A. フォックス ウルフガング ケターレ カール E. ウイマン	半導体ヘテロ構造
2000	ジャック キューリック ハーバート クロマー ジョレス アルフォーロフ	高分子の統計力学
1999	ヘラルドゥス ヘットホーフト E. マルティヌス フェルトマン	電弱相互作用の量子論的な構造の解明
1998	ホルスト L. シュテットゲン ダニエル C. オズランド ロバート B. ラフリン	量子ホール効果 における分数電荷
1997	スティーブ ジョージ クロード コーエン ウィリアム D. ハム	レーザー冷却
1996	デービッド M. リー	ヘリウムの超流動
1994	C.G. シャル B.N. ブロックハウス R.A. ハルス テイラー	高密度物質研究のための中性子散乱技術の開発 連星パルサーの発見
1991	P.-G. ドジャンヌ R.E. テイラー	より複雑な高分子、液晶、超伝導磁性材料の相転移現象の数学的研究
1989	H.G. デーメルト W. バウル N.F. ラムゼー	レーザー冷却
1988	J. ストラー	高温超伝導体
1987	K.A. ミュラー	高温超伝導体の発見
1986	J.A. エルスカ	走査型トンネル顕微鏡の開発
1985	ジョン H. ワグナー	電子顕微鏡に関する基礎研究と開発
1983	S. ファンデルメーア S. チャンドラセカール ジョン H. ファウラー	星の進化、構造を知る上で重要な物理的過程の研究
1982	ロバート H. オズワルド	物質の相転移に関連した臨界現象に関する理解
1981	ジャン ベルゲン	レーザー分光学への寄与
1980	A.L. シャーロウ K.M.B. シーグバーン	高分解能光電子分光法の開発
1980	J.W. クローニン V.L. フィッチ	中性K中間子崩壊における基本対称性の破れの発見
1979	S. ワインバーグ S.L. グラショウ A. サラム	中性カレントの予言、電磁相互作用と弱い相互作用の統一理論への寄与
1978	A.A. ベンジアス R.W. ウィルソン	宇宙マイクロ波背景放射の発見
1977	P.L. カピッツァ P.W. アンダーソン N.F. モット J.H. ヴァングレック	低温物理学における基礎的研究 磁性体と無秩序系の電子構造の理論的研究

高温超伝導体

量子ホール効果
における分数電荷

レーザー冷却

ヘリウムの超流動

原子のボーズ凝縮

高分子の統計力学

半導体ヘテロ構造

物理学の中の 物性物理学

★ ノーベル物理学賞 (凝縮系物理学)

年	受賞者	受賞理由
2006	ジョン C. マザー ジョージ F. スムート	光の量子論
2005	ロイ J. グラウバー ジョン L. ホール テオドール W. ヘンシュ	レーザー冷却
2004	デヴィッド J. グロス H. デヴィッド ポリツァー フランク ウィルチェ	異方的超伝導と超流動
2003	アレクセイ A. アブリコソフ ヴィクトリー L. ギンツブルグ アンソニー J. レグgett	ヘリウムの超流動
2002	小柴 昌俊 レイモンド デイヴィッドソン リカルド ジョセフ エンリケ	原子のボーズ凝縮
2001	エリック A. フォーム ウルフガング ケターレ カール E. ウイマン	半導体ヘテロ構造
2000	ジャック キューザック ハーバート クロマー ジョレス アルフォーロフ	高分子の統計力学
1999	ヘラルドゥス ヘットホーフト E. マルティヌス フェルトマン	電弱相互作用の量子論的な構造の解明
1998	ホルスト L. シュテットリン ダニエル C. リッペン ロバート B. ラフリン	量子ホール効果 における分数電荷
1997	スティーブ マウリ クロード コーエン ウィリアム D. ハム	レーザー冷却
1996	デービッド M. リー	ヘリウムの超流動
1994	C.G. シャル B.N. ブロックハウス R.A. ハルス テイラー	高密度物質研究のための中性子散乱技術の開発 連星パルサーの発見
1991	P.-G. ドジャンヌ R.E. テイラー	より複雑な高分子、液晶、超伝導磁性材料の相転移現象の数学的研究
1989	H.G. デーメルト W. バウル N.F. ラムゼー	低温物理学における基礎的研究
1988	J. ストラー	電子顕微鏡に関する基礎研究と開発
1987	K.A. ミュラー	高温超伝導体
1983	S. チャンドラセカール P. ファウラー	星の進化、構造を知る上で重要な物理的過程の研究
1980	J.W. クローニン V.L. フィッチ	素粒子(W、Z粒子)の発見をもたらしたプロジェクトへの貢献
1979	S. ワインバーグ S.L. グラشوウ A. サラム	物質の相転移に関連した臨界現象に関する理解
1977	P.W. アンダーソン N.F. モット J.H. ヴァングレック	レーザー分光学への寄与 高分解能光電子分光法の開発 中性K中間子崩壊における基本対称性の破れの発見 中性カレントの予言、電磁相互作用と弱い相互作用の統一理論への寄与 宇宙マイクロ波背景放射の発見
1977	P.W. アンダーソン N.F. モット J.H. ヴァングレック	磁性体と無秩序系の電子構造の理論的研究

高温超伝導体

量子ホール効果
における分数電荷

STM

レーザー冷却

異方的超伝導と超流動

ヘリウムの超流動

原子のボーズ凝縮

半導体ヘテロ構造

高分子の統計力学

物理学の中の 物性物理学

★ ノーベル物理学賞 (凝縮系物理学)

年	受賞者	受賞理由
2006	ジョン C. マザー ジョージ F. スムート	光の量子論
2005	ロイ J. グラウバー ジョン L. ホール テオドール W. ヘンシュ	レーザー冷却
2004	デヴィッド J. グロス H. デヴィッド ポリツァー フランク ウィルチュク	異方的超伝導と超流動
2003	アレクセイ A. アブリコソフ ヴィクトリー L. ギンツブルグ アンソニー J. レグgett	ヘリウムの超流動
2002	小柴 昌俊 レイモンド デイヴィッド リカルド ジョセフ	原子のボーズ凝縮
2001	エリック A. フォーム ウルフガング ケターレ カール E. ワイマン	半導体ヘテロ構造
2000	ジャック キュー ハーバート クロマー ジョレス アルフォーロフ	高分子の統計力学
1999	ヘラルドゥス ヘットホーフト E. マルティヌス フェルトマン	電弱相互作用の量子論的な構造の解明
1998	ホルスト L. シュテッヘル ダニエル C. リッペン ロバート B. ラフリン	量子ホール効果 における分数電荷
1997	スティーブ マウ クロード コーエン ウィリアム D. ハム	レーザー冷却
1996	デービッド M. リー	ヘリウムの超流動
1994	C.G. シャル B.N. ブロックハウス R.A. ハルス テイラー G. シャルバック	高密度物質研究のための中性子散乱技術の開発 連星パルサーの発見 素粒子実験用の多線式比例計数箱の開発
1991	P.-G. ドジャンヌ R.E. テイラー クリスチアン フリッシュ H.W. ケン	より複雑な高分子、液晶、超伝導磁性材料の相転移現象の数学的研究
1989	H.G. デーメルト W. バウル N.F. ラムゼー	量子ホール効果
1988	J. ストラー	STM
1987	K.A. ミュラー	高温超伝導体
1983	S. ファン S. チャン ファウラー ジョン ベルゲン	量子ホール効果
1980	A.L. シャーロウ K.M.B. シーグバーン	物質の相転移に関連した臨界現象に関する理解 レーザー分光学への寄与
1980	J.W. クローニン V.L. フィッチ	高分解能光電子分光法の開発 中性K中間子崩壊における基本対称性の破れの発見
1979	S. ワインバーグ S.L. グラショウ A. サラム	中性カレントの予言、電磁相互作用と弱い相互作用の統一理論への寄与
1978	A.A. ベンジアス R.W. ウィルソン	宇宙マイクロ波背景放射の発見
1977	P.L. カビッツァ P.W. アンダーソン N.F. モット J.H. ヴァングレック	低温物理学における基礎的研究 磁性体と無秩序系の電子構造の理論的研究

物理学の中の 物性物理学

★ ノーベル物理学賞 (凝縮系物理学)

年	受賞者	受賞理由
2006	ジョン C. マザー ジョージ F. スムート	光の量子論
2005	ロイ J. グラウバー ジョン L. ホール テオドール W. ヘンシュ	光前波の干渉を用いた精密分光の発展への貢献
2004	デヴィッド J. グロス H. デヴィッド ポリツァー フランク ウィルチーク	強い相互作用の理論的計算の発展
2003	アレクセイ A. アブリコソフ ヴィクトリー L. ギンツブルグ アンソニー J. レグgett	異方的超伝導と超流動
2002	小柴 昌俊 レイモンド デイヴィッドソン リカルド ジョセフ エンリケ	天体物理学、特に宇宙ニュートリノの検出
2001	エリック A. フォーム ウルフガング ケターレ カール E. ウイマン	インシュレーション状態の発見と基礎的な研究
2000	ジャック キュリア ハーバート クロマー ジョレス アルフォーロフ	半導体ヘテロ構造の開発
1999	ヘラルドゥス ヘットホーフト E. マルティヌス フェルトマン	電弱相互作用の量子論的な構造の解明
1998	ホルスト L. シュテットゲン ダニエル C. リッペン ロバート B. ラフリン	量子ホール効果における分数電荷
1997	スティーブ マウ クロード コーエン ウィリアム D. トレヴァー	レーザー冷却
1996	デービッド M. リー	ヘリウムの超流動
1994	C.G. シャル B.N. ブロックハウス R.A. ハルス テイラー	高密度物質研究のための中性子散乱技術の開発 連星パルサーの発見
1991	P.-G. ドジャンヌ R.E. テイラー	より複雑な高分子、液晶、超伝導磁性材料の相転移現象の数学的研究
1989	H.G. デーメルト W. バウル N.F. ラムゼー	高分子の統計力学
1988	J. ストラー	高温超伝導体
1987	K.A. ミュラー	STM
1983	S. ファン S. チャン ファウラー	量子ホール効果
1980	A.L. K.M. J.W. クローニン V.L. フィッチ	臨界現象と繰り込み群
1979	S. ワインバーグ S.L. グラشوウ A. サラム	中性カレントの予言、電磁相互作用と弱い相互作用の統一理論への寄与
1977	A.A. ベンジアス R.W. ウィルソン P.L. カビッツァ P.W. アンダーソン N.F. モット J.H. ヴァン グレック	宇宙マイクロ波背景放射の発見 低温物理学における基礎的研究 磁性体と無秩序系の電子構造の理論的研究

光の量子論

量子ホール効果
における分数電荷

高温超伝導体

STM

レーザー冷却

量子ホール効果

異方的超伝導と超流動

ヘリウムの超流動

臨界現象と
繰り込み群

原子のボーズ凝縮

半導体ヘテロ構造

高分子の統計力学

物理学の中の 物性物理学

★ ノーベル物理学賞 (凝縮系物理学)

年	受賞者	受賞理由
2006	ジョン C. マザー ジョージ F. スムート	光の量子論
2005	ロイ J. グラウバー ジョン L. ホール テオドール W. ヘンシュ	レーザー冷却
2004	デヴィッド J. グロス H. デヴィッド ポリツァー フランク ウィルチ	異方的超伝導と超流動
2003	アレクセイ A. アブリコソフ ヴィクトリー L. ギンツブルグ アンソニー J. レグgett	ヘリウムの超流動
2002	小柴 昌俊 レイモンド デイヴィッドソン リカルド ジョセフ エンリケ	原子のボーズ凝縮
2001	エリック A. フォクサー ウルフガング ケターレ カール E. ウイマン	半導体ヘテロ構造
2000	ジャック キューザック ハーバート クロマー ジョレス アルフォーロフ	高分子の統計力学
1999	ヘラルドゥス ヘットホーフト E. マルティヌス フェルトマン	電弱相互作用の量子論的な構造の解明
1998	ホルスト L. シュテットゲン ダニエル C. オズランド ロバート B. ラフリン	量子ホール効果 における分数電荷
1997	スティーブ マウリ クロード コーエン ウィリアム D. ハム	量子ホール効果
1996	デービッド M. リー	ヘリウムの超流動
1994	C.G. シャル B.N. ブロックハウス R.A. ハルス	臨界現象と 繰り込み群
1991	P.-G. ドジャンヌ R.E. テイラー P. フラトリ	磁性と乱れた系の局在
1989	H.G. デーメルト W. バウル N.F. ラムゼー	臨界現象と 繰り込み群
1988	J. ストラー	高温超伝導体
1987	K.A. ミュラー	STM
1983	S. ファン S. チャン	量子ホール効果
1980	J.W. クローニン V.L. フィッチ	臨界現象と 繰り込み群
1979	S. ワインバーグ S.L. グラشوウ A. サラム	臨界現象と 繰り込み群
1977	P.W. アンダーソン N.F. モット J.H. ヴァングレック	磁性と乱れた系の局在

光の量子論

量子ホール効果
における分数電荷

高温超伝導体

STM

レーザー冷却

量子ホール効果

異方的超伝導と超流動

ヘリウムの超流動

臨界現象と
繰り込み群

原子のボーズ凝縮

半導体ヘテロ構造

高分子の統計力学

磁性と乱れた系の局在

物理学の中の物性物理学

★ 近年のノーベル物理学賞

2008	南部 陽一郎	87	アメリカ	原子核物理学における自発的対称性の破れの発見 自然界に少なくとも3つのクォークファミリーが存在することを予言する対称性の破れの起源の発見
	小林 誠	64	日本	
	益川 敏英	68	日本	
2007	アルベール フェール	69	フランス	巨大磁気抵抗効果(GMR)の発見
	ペーター グリュンベルク	68	ドイツ	

物理学の中の物性物理学

★ 近年のノーベル物理学賞

2008	南部 陽一郎	87	アメリカ	原子核物理学における自発的対称性の破れの発見 自然界に少なくとも3つのクォークファミリーが存在することを予言する対称性の破れの起源の発見
	小林 誠	64	日本	
	益川 敏英	68	日本	
2007	アルベール フェール	69	フランス	巨大磁気抵抗効果(GMR)の発見
	ペーター グリュンベルク	68	ドイツ	

スピン、局在モーメントの物理

物理学の中の物性物理学

★ 近年のノーベル物理学賞

自発的対称性の破れ：
ポスト南部ゴールドストーン

2008	南部 陽一郎	87	アメリカ	原子核物理学における自発的対称性の破れの発見 自然界に少なくとも3つのクォークファミリーが存在することを予言する対称性の破れの起源の発見
	小林 誠	64	日本	
	益川 敏英	68	日本	
2007	アルベール フェール	69	フランス	巨大磁気抵抗効果(GMR)の発見
	ペーター グリュンベルク	68	ドイツ	

スピン、局在モーメントの物理

超伝導と超流動：対称性の破れと相転移

BCS 理論

Bardeen, Cooper and Schrieffer



The Nobel Prize in Physics 1972

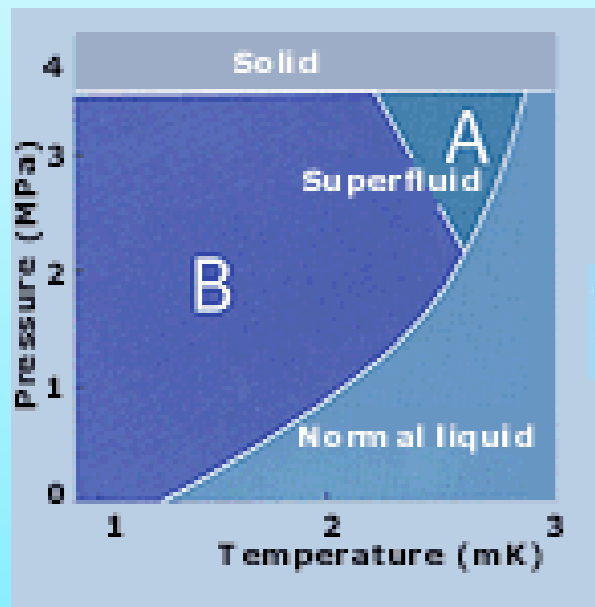
超伝導にもいろいろある：量子相転移

高温超伝導体の発見

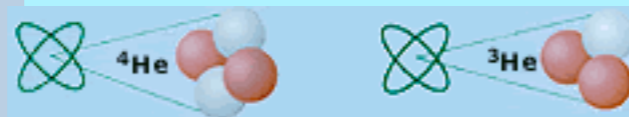
J. Georg Bednorz K. Alexander Müller



The Nobel Prize in Physics 1987



量子相転移



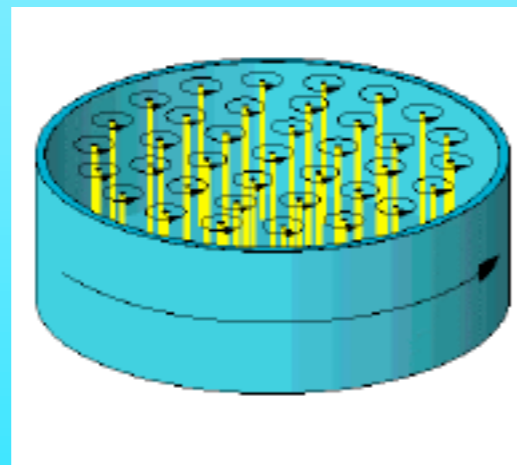
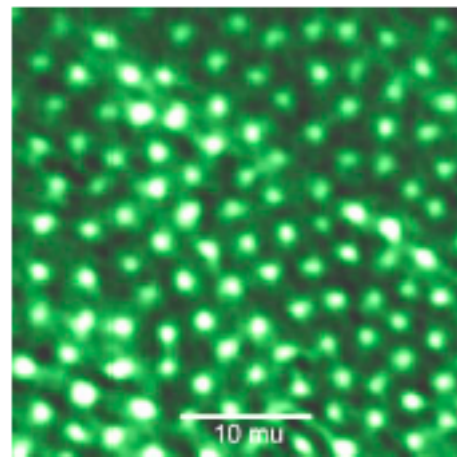
David M. Lee, Douglas D. Osheroff, Robert C. Richardson



The Nobel Prize in Physics 1996

第2種超伝導

Alexei A. Abrikosov, Vitaly L. Ginzburg, Anthony J. Leggett



The Nobel Prize in Physics 2003

磁石：秩序形成＝対称性の破れの例

- ★ 電子は電荷の他に固有の角運動量を持つ（スピン）
- ★ スピン= $\hbar/2$: \hbar と同程度：量子論による記述
- ★ 磁石：電子のスピンが一つの方向にそろったもの
 - ★ スピンとは何だろうか (Dirac)
 - ★ なぜスピンのそろうのか？
 - ★ そろいかたにもいろいろある
 - ★ 多様な磁気秩序相
 - ★ $\uparrow \downarrow \uparrow \downarrow \uparrow \downarrow \uparrow \downarrow \uparrow \downarrow$ (反強磁性：ネール状態)
 - ★ $\uparrow \uparrow \uparrow \uparrow \uparrow \uparrow \uparrow \uparrow \uparrow \uparrow$ (強磁性)
 - ★ どうやって磁気秩序を区別するか？

ものの区別から量子相転移へ

★物質の多様な形態を区別、理解する

- ★ 水の三態（液体、気体、固体）
- ★ 磁石はなぜ磁力ももつのか？
- ★ なぜ水は透明か？
- ★ ルビーはなぜ赤い？
- ★ ...
- ★ 金属はなぜ電気を通す
- ★ 陶器はなぜ絶縁体なのか
- ★ 金、銀はなぜキラキラするの？
- ★ ダイヤモンドと鉛筆の違いは？

★多様な形態を「相」として特徴づける

ものの区別から量子相転移へ

★物質の多様な形態を区別、理解する

- ★ 水の三態（液体、気体、固体）
- ★ 磁石はなぜ磁力ももつのか？
- ★ なぜ水は透明か？
- ★ ルビーはなぜ赤い？
- ★ ...
- ★ 金属はなぜ電気を通す
- ★ 陶器はなぜ絶縁体なのか
- ★ 金、銀はなぜキラキラするの？
- ★ ダイヤモンドと鉛筆の違いは？

★多様な形態を「相」として特徴づける

どうやって？

ものの区別から量子相転移へ

★物質の多様な形態を区別、理解する

- ★ 水の三態（液体、気体、固体）
- ★ 磁石はなぜ磁力ももつのか？
- ★ なぜ水は透明か？
- ★ ルビーはなぜ赤い？
- ★ ...
- ★ 金属はなぜ電気を通す
- ★ 陶器はなぜ絶縁体なのか
- ★ 金、銀はなぜキラキラするの？
- ★ ダイヤモンドと鉛筆の違いは？

★多様な形態を「相」として特徴づける

どうやって？ → 秩序の概念をつかって！

ものの区別から量子相転移へ

★物質の多様な形態を区別、理解する

- ★ 水の三態（液体、気体、固体）
- ★ 磁石はなぜ磁力ももつのか？
- ★ なぜ水は透明か？
- ★ ルビーはなぜ赤い？
- ★ ...
- ★ 金属はなぜ電気を通す
- ★ 陶器はなぜ絶縁体なのか
- ★ 金、銀はなぜキラキラするの？
- ★ ダイヤモンドと鉛筆の違いは？

★多様な形態を「相」として特徴づける

どうやって？ → 秩序の概念をつかって！

どのように？

ものの区別から量子相転移へ

★物質の多様な形態を区別、理解する

- ★ 水の三態（液体、気体、固体）
- ★ 磁石はなぜ磁力ももつのか？
- ★ なぜ水は透明か？
- ★ ルビーはなぜ赤い？
- ★ ...
- ★ 金属はなぜ電気を通す
- ★ 陶器はなぜ絶縁体なのか
- ★ 金、銀はなぜキラキラするの？
- ★ ダイヤモンドと鉛筆の違いは？

★多様な形態を「相」として特徴づける

どうやって？ → 秩序の概念をつかって！

どのように？ → 対称性の破れによって

ものの区別から量子相転移へ

★物質の多様な形態を区別、理解する

- ★ 水の三態（液体、気体、固体）
- ★ 磁石はなぜ磁力ももつのか？
- ★ なぜ水は透明か？
- ★ ルビーはなぜ赤い？
- ★ ...
- ★ 金属はなぜ電気を通す
- ★ 陶器はなぜ絶縁体なのか
- ★ 金、銀はなぜキラキラするの？
- ★ ダイヤモンドと鉛筆の違いは？

★多様な形態を「相」として特徴づける

どうやって？ → 秩序の概念をつかって！

どのように？ → 対称性の破れによって

何を使って？

ものの区別から量子相転移へ

★物質の多様な形態を区別、理解する

- ★ 水の三態（液体、気体、固体）
- ★ 磁石はなぜ磁力ももつのか？
- ★ なぜ水は透明か？
- ★ ルビーはなぜ赤い？
- ★ ...
- ★ 金属はなぜ電気を通す
- ★ 陶器はなぜ絶縁体なのか
- ★ 金、銀はなぜキラキラするの？
- ★ ダイヤモンドと鉛筆の違いは？

★多様な形態を「相」として特徴づける

- どうやって？ → 秩序の概念をつかって！
- どのように？ → 対称性の破れによって
- 何を使って？ → 秩序変数を用いて

ものの区別から量子相転移へ

★物質の多様な形態を区別、理解する

- ★ 水の三態（液体、気体、固体）
- ★ 磁石はなぜ磁力ももつのか？
- ★ なぜ水は透明か？
- ★ ルビーはなぜ赤い？
- ★ ...
- ★ 金属はなぜ電気を通す
- ★ 陶器はなぜ絶縁体なのか
- ★ 金、銀はなぜキラキラするの？
- ★ ダイヤモンドと鉛筆の違いは？

★多様な形態を「相」として特徴づける

どうやって？ → 秩序の概念をつかって！

どのように？ → 対称性の破れによって

何を使って？ → 秩序変数を用いて

秩序変数を用いた対称性の自発的破れによる相分類

秩序と秩序変数

★ 磁気秩序 (磁石)

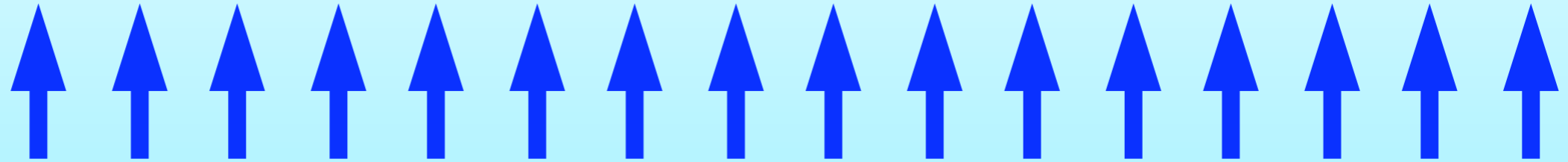
秩序と秩序変数

★磁気秩序（磁石）

室温の磁石

(秩序正しい)

秩序相



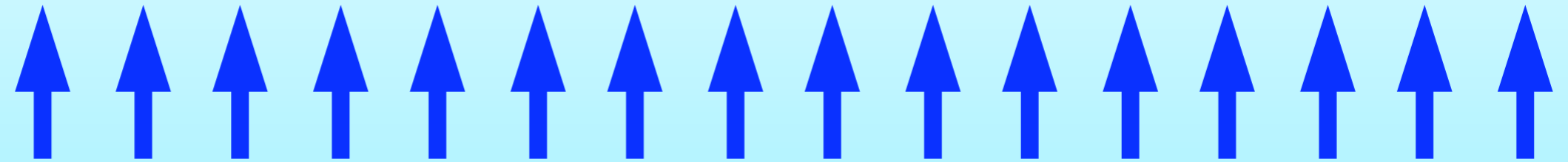
秩序と秩序変数

★磁気秩序 (磁石)

室温の磁石

(秩序正しい)

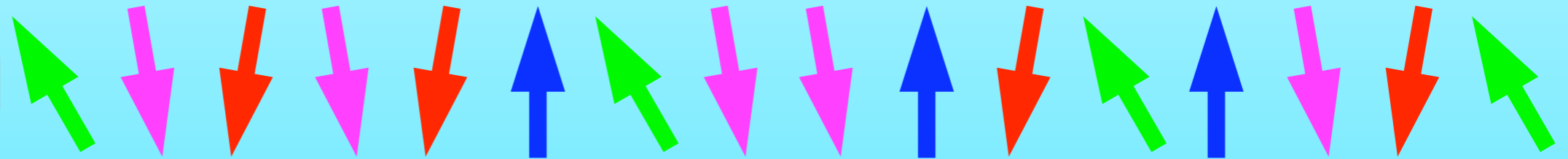
秩序相



磁石をバーナーで熱すると

(でたらめ)

無秩序相



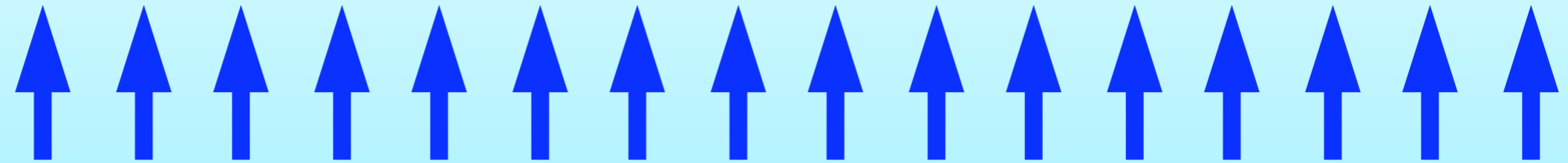
秩序と秩序変数

★磁気秩序 (磁石)

室温の磁石

(秩序正しい)

秩序相



磁石をバーナーで熱すると

(でたらめ)

無秩序相



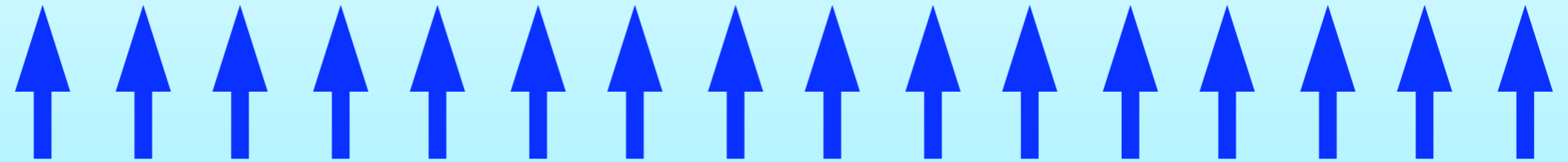
秩序変数：矢印！ “vector”

$\vec{m}(\vec{r})$ 場所 \vec{r} での平均の磁化の方向 \vec{m}

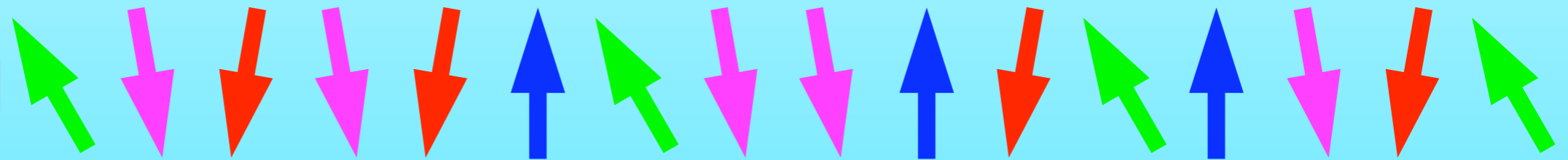
秩序変数と対称性の自発的破れ

★ 対称性の観点から区別しよう！！

秩序相

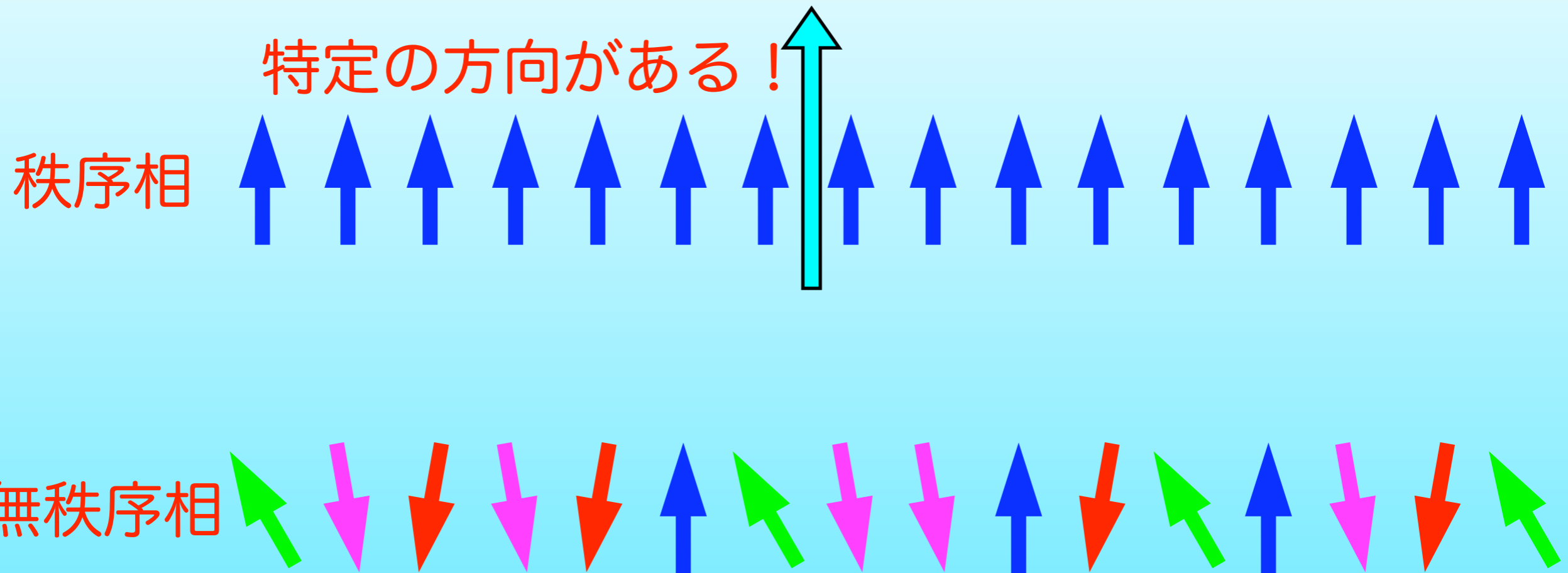


無秩序相



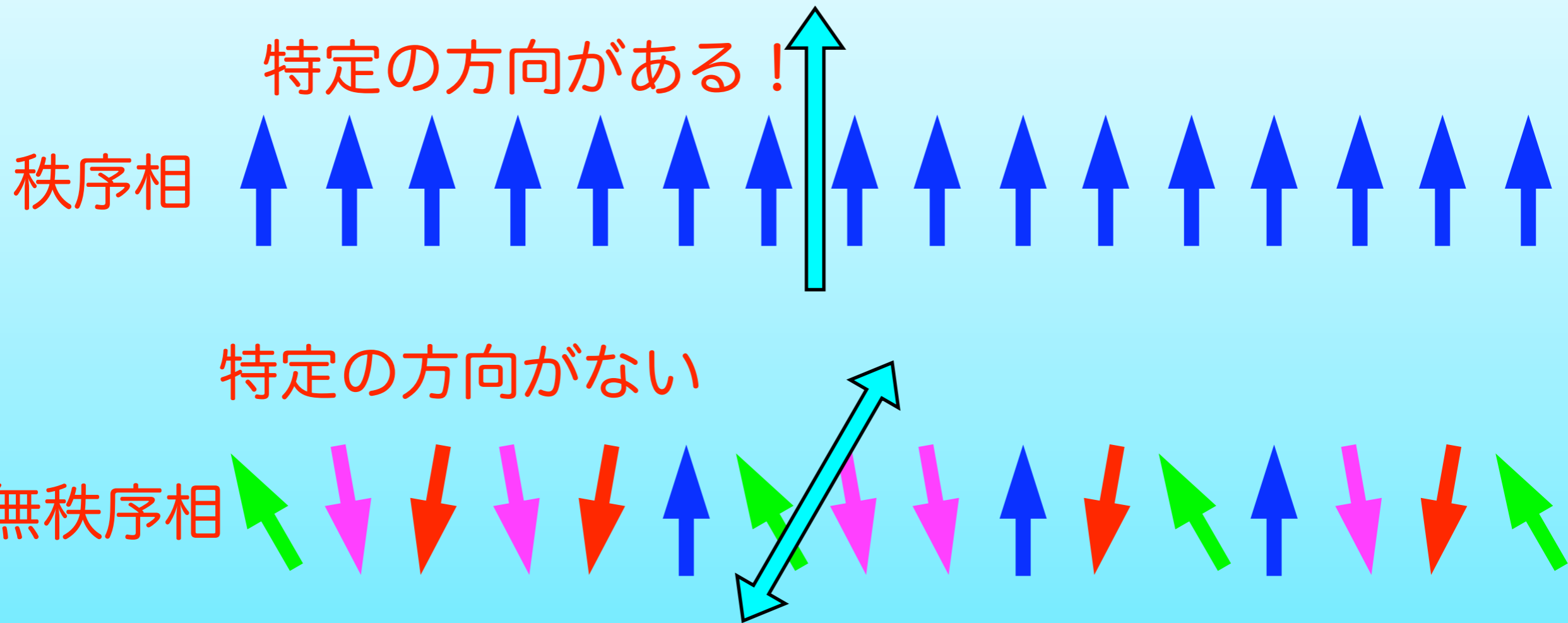
秩序変数と対称性の自発的破れ

★ 対称性の観点から区別しよう！！



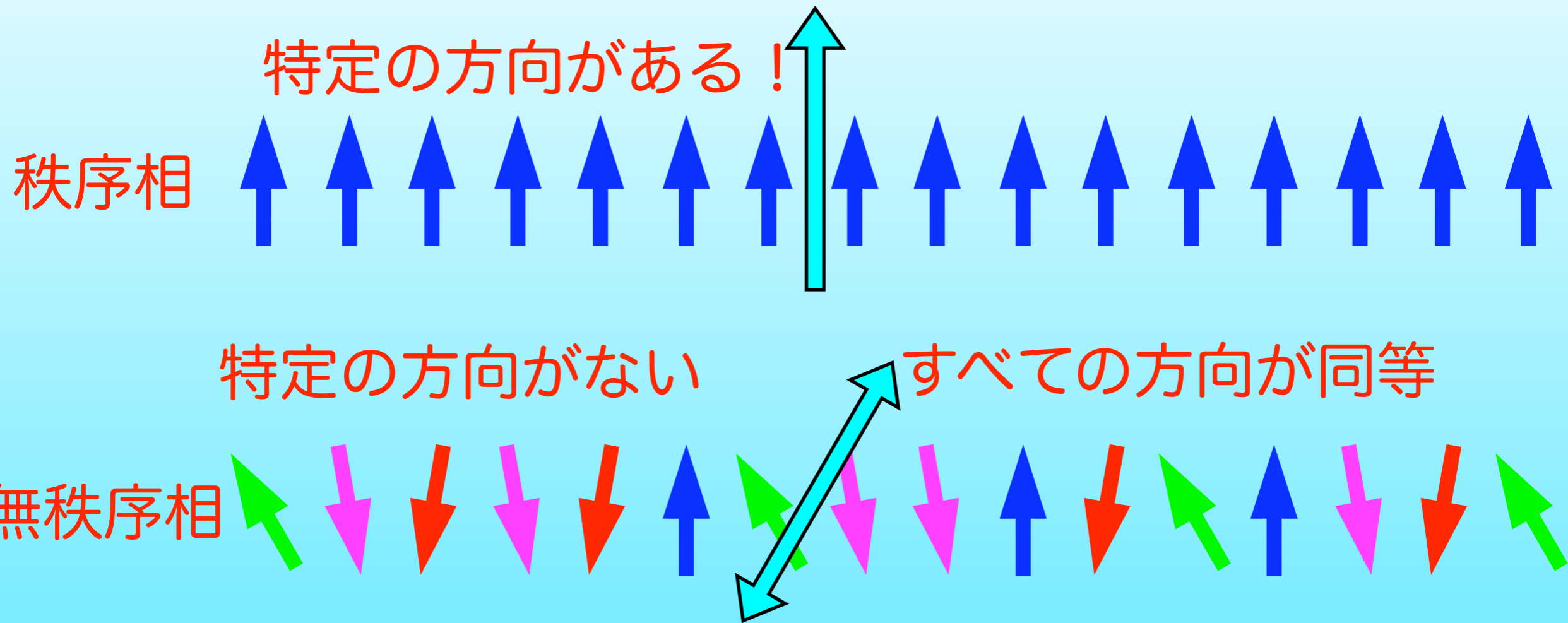
秩序変数と対称性の自発的破れ

★ 対称性の観点から区別しよう！！



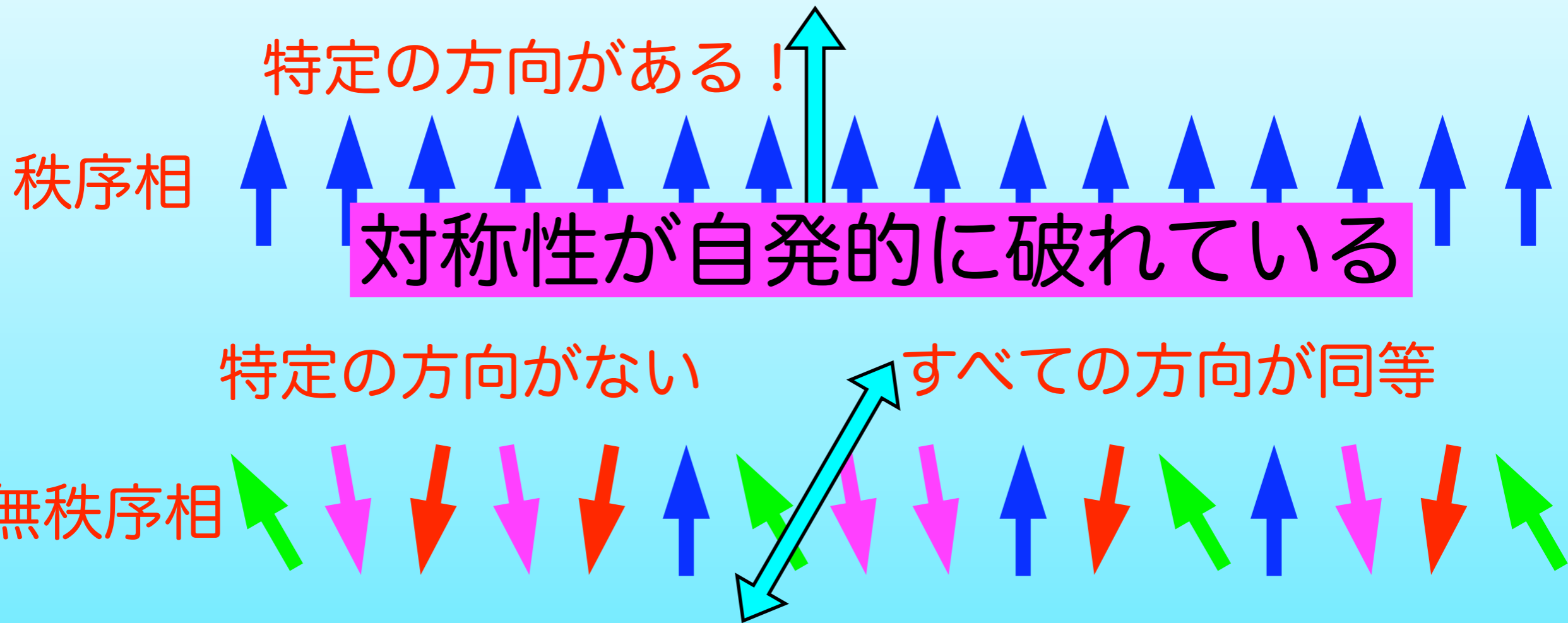
秩序変数と対称性の自発的破れ

★ 対称性の観点から区別しよう！！



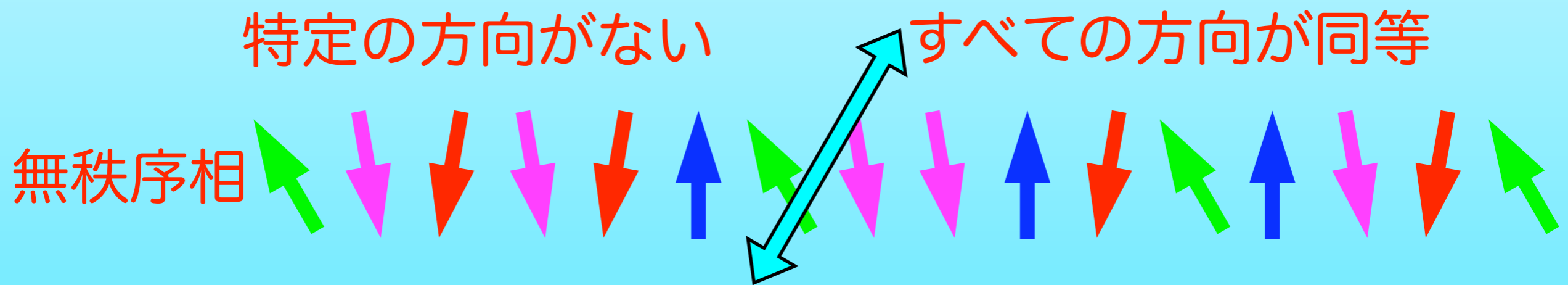
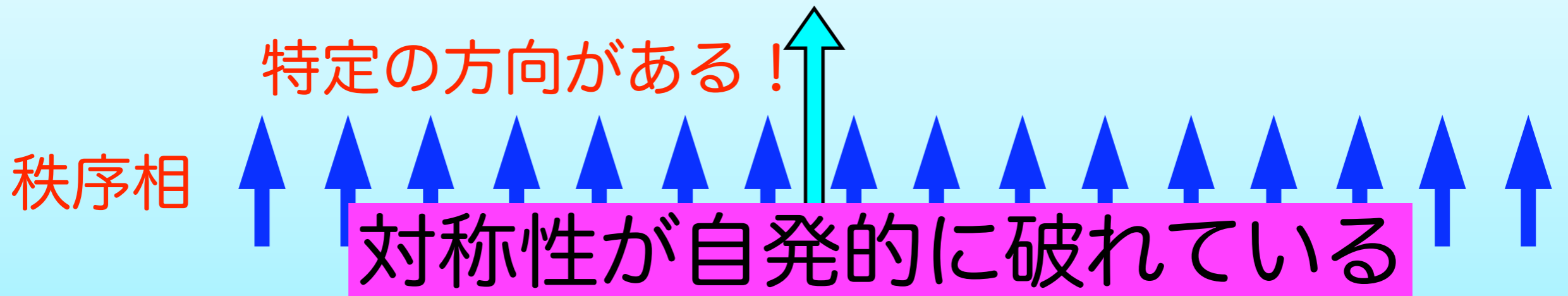
秩序変数と対称性の自発的破れ

★ 対称性の観点から区別しよう！！



秩序変数と対称性の自発的破れ

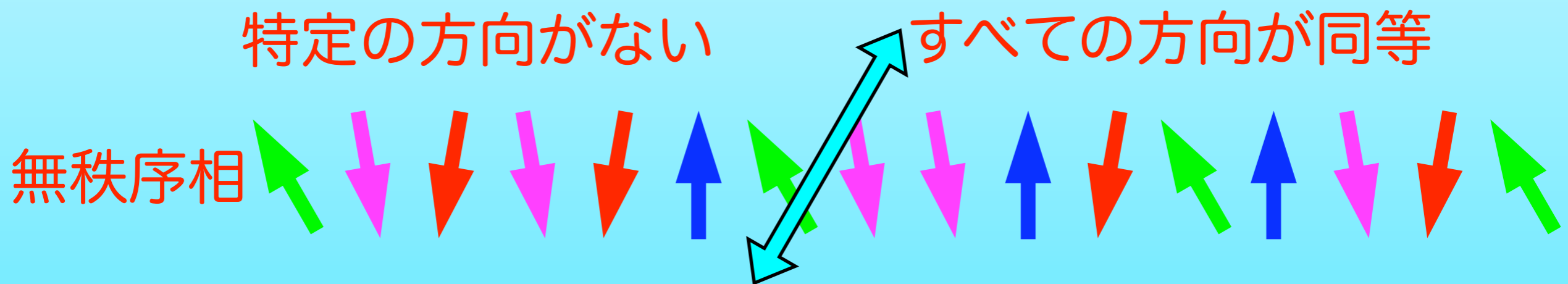
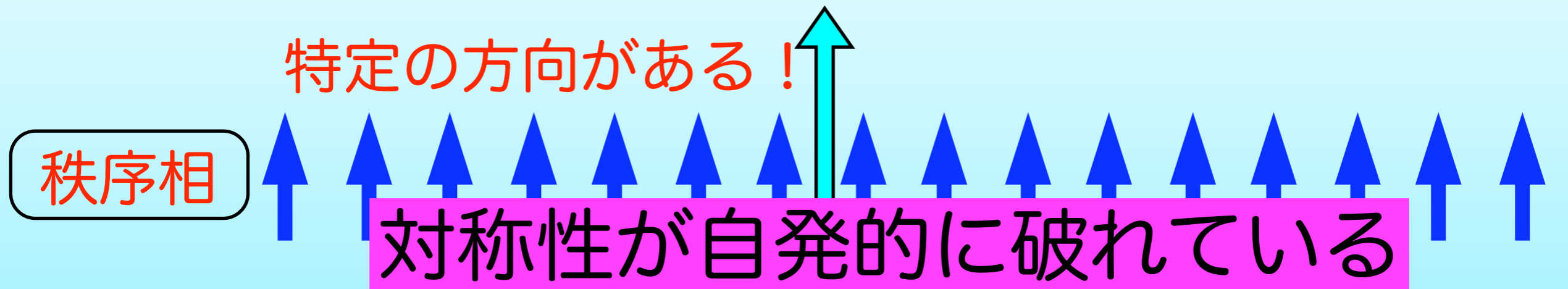
★ 対称性の観点から区別しよう！！



秩序変数 $m(\vec{r}) : \begin{cases} \neq 0 & \text{対称性が破れている} \\ = 0 & \text{対称性が破れていない} \end{cases}$

秩序変数と対称性の自発的破れ

★ 対称性の観点から区別しよう！！

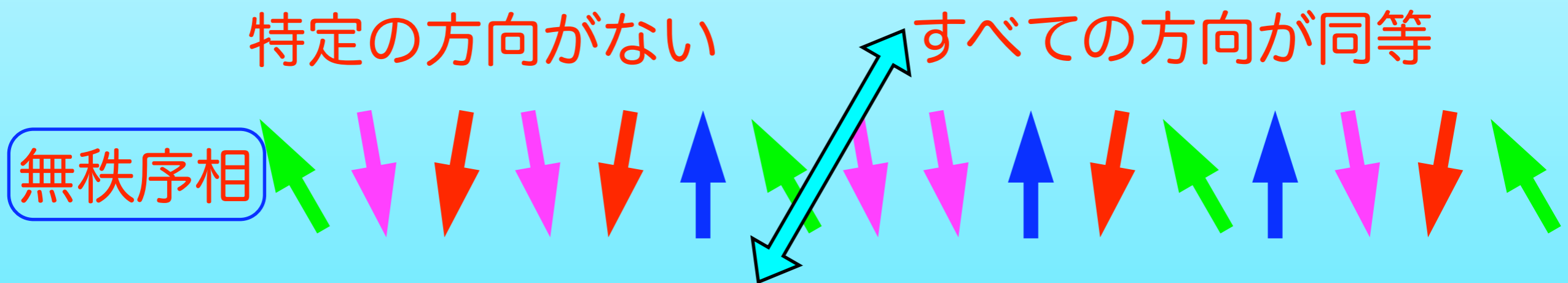
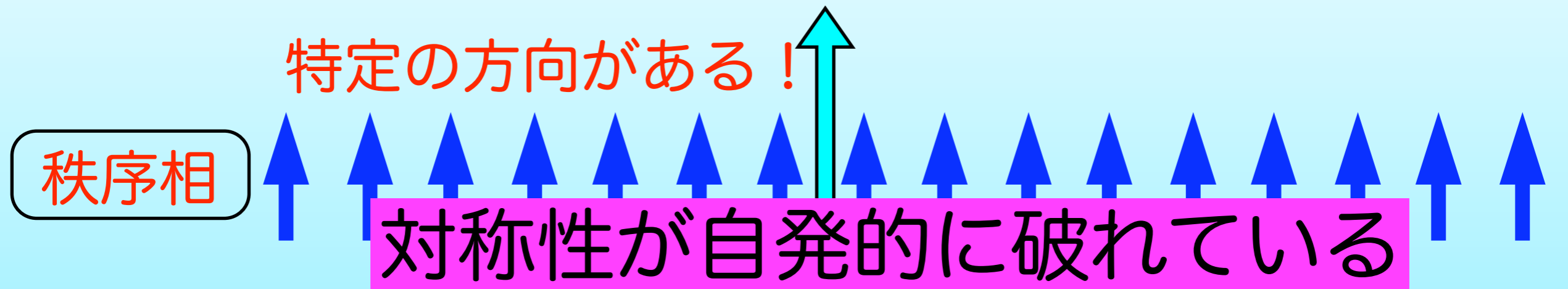


秩序変数 $m(\vec{r})$:

$\neq 0$	対称性が破れている
$= 0$	対称性が破れていない

秩序変数と対称性の自発的破れ

★ 対称性の観点から区別しよう！！



秩序変数 $m(\vec{r})$:

$\neq 0$	対称性が破れている
$= 0$	対称性が破れていない

対称性の自発的破れ

Spontaneous Symmetry Breaking

対称性の自発的破れ

Spontaneous Symmetry Breaking

物質はすべての方向は同等のはず！

特定の方向はない

すべての方向が同等

対称性の自発的破れ *Spontaneous Symmetry Breaking*

物質はすべての方向は同等のはず！

特定の方向はない

すべての方向が同等

物質の形態を定める法則
は完全に等方的

対称性の自発的破れ *Spontaneous Symmetry Breaking*

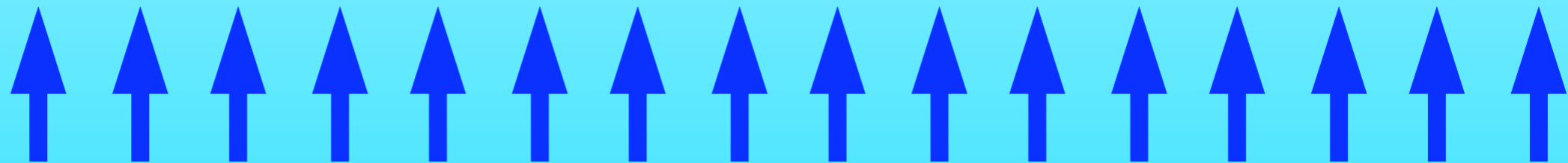
物質はすべての方向は同等のはず！

特定の方向はない
すべての方向が同等

物質の形態を定める法則
は完全に等方的

実現した状態には特定の方向がある！

秩序相



対称性の自発的破れ *Spontaneous Symmetry Breaking*

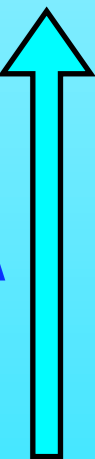
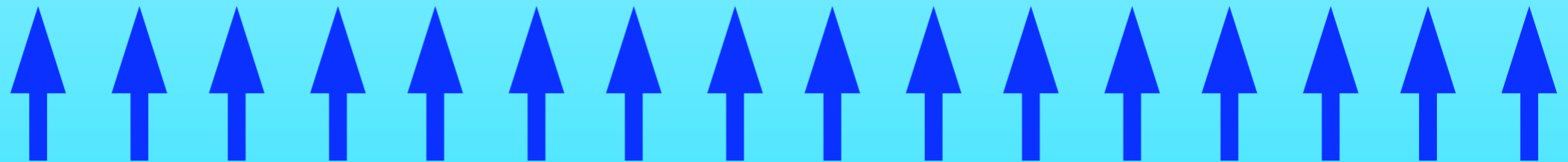
物質はすべての方向は同等のはず！

特定の方向はない
すべての方向が同等

物質の形態を定める法則
は完全に等方的

実現した状態には特定の方向がある！

秩序相



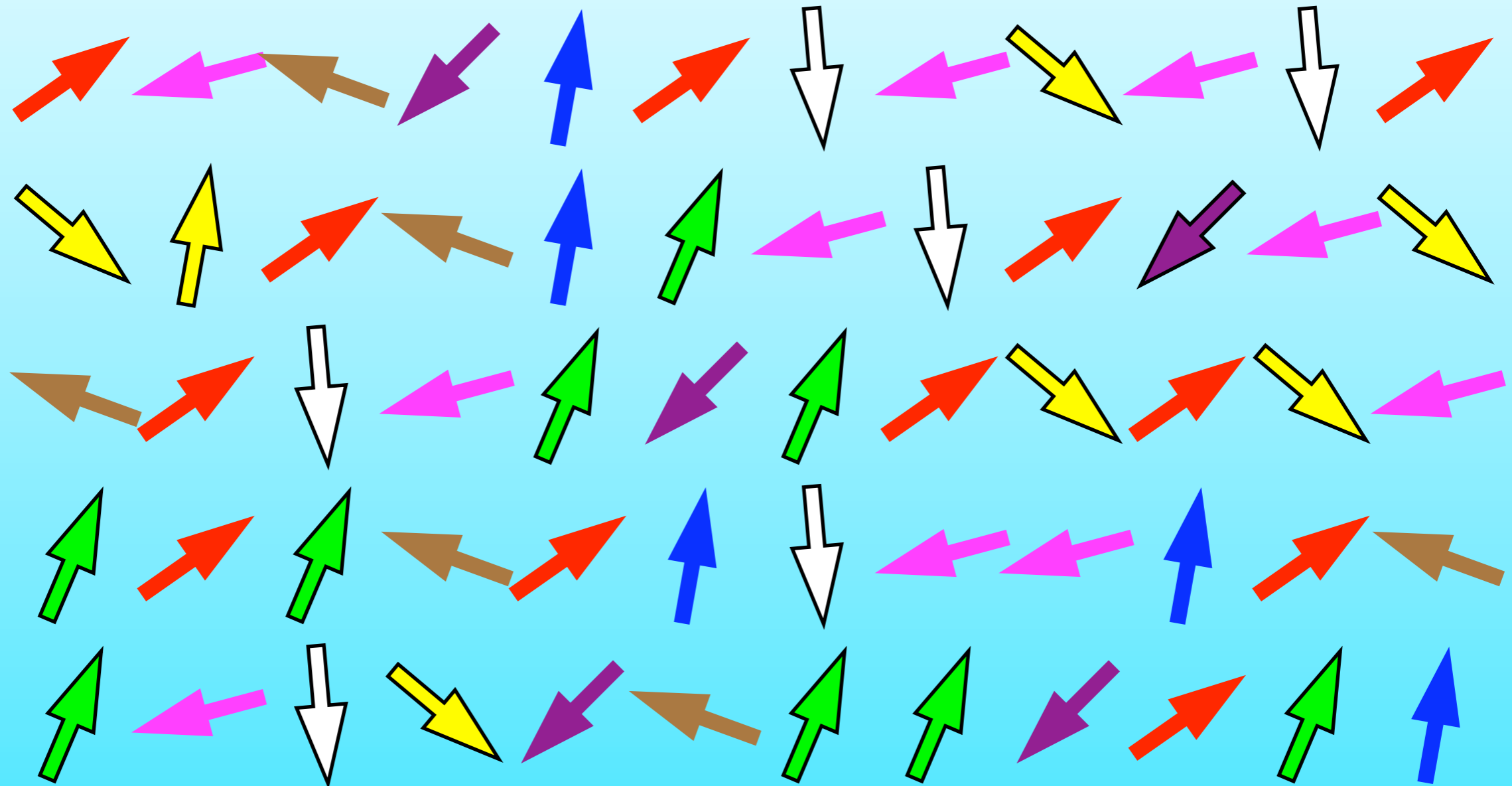
対称性が自発的に破れている

温度低下による自発的対称性の破れ

Disordered

高温相

Symmetric



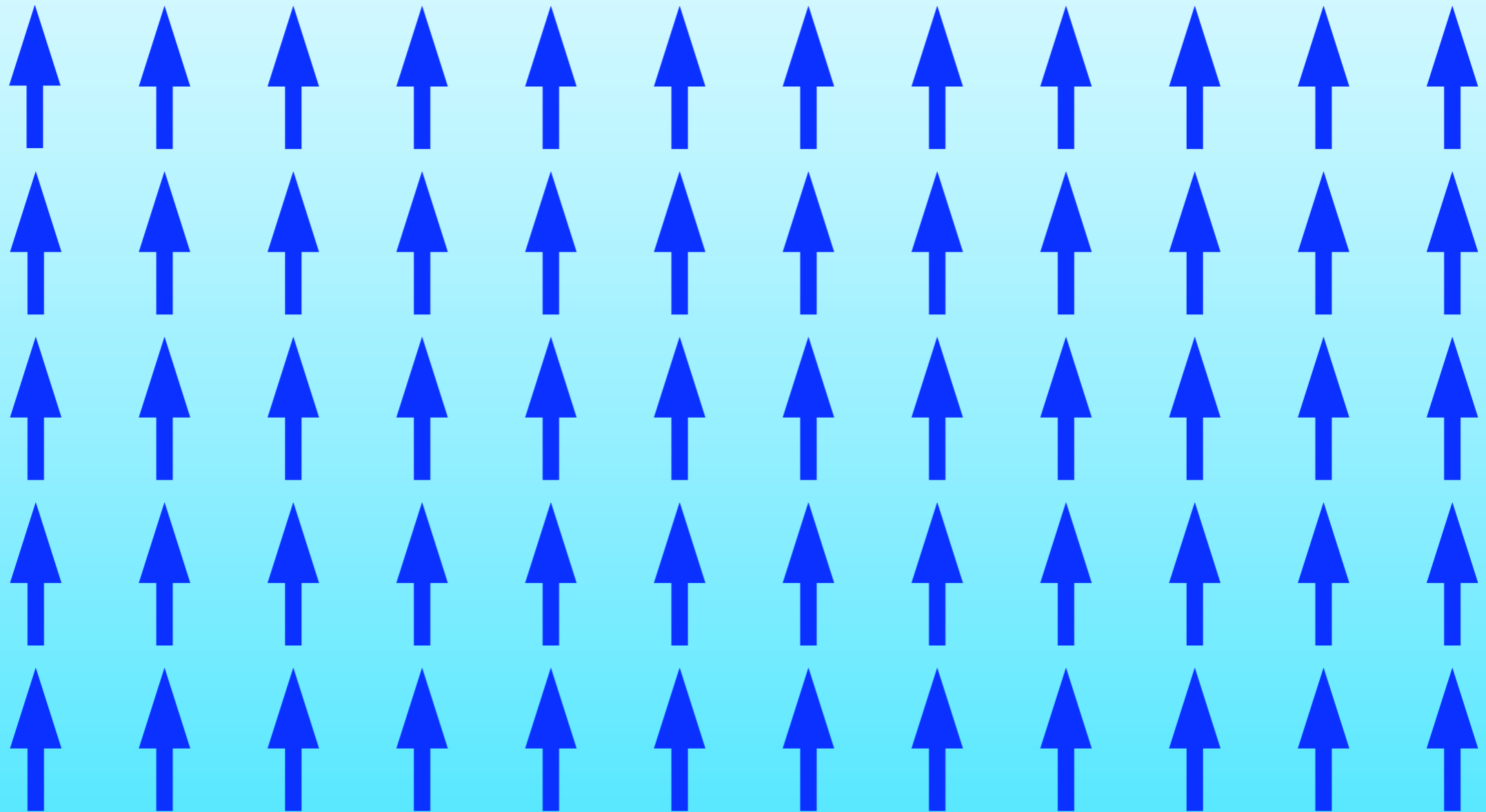
特定の方向が無い：平均的にすべての方向が同等

温度低下による自発的対称性の破れ

Ordered

低温相

Broken Symmetry



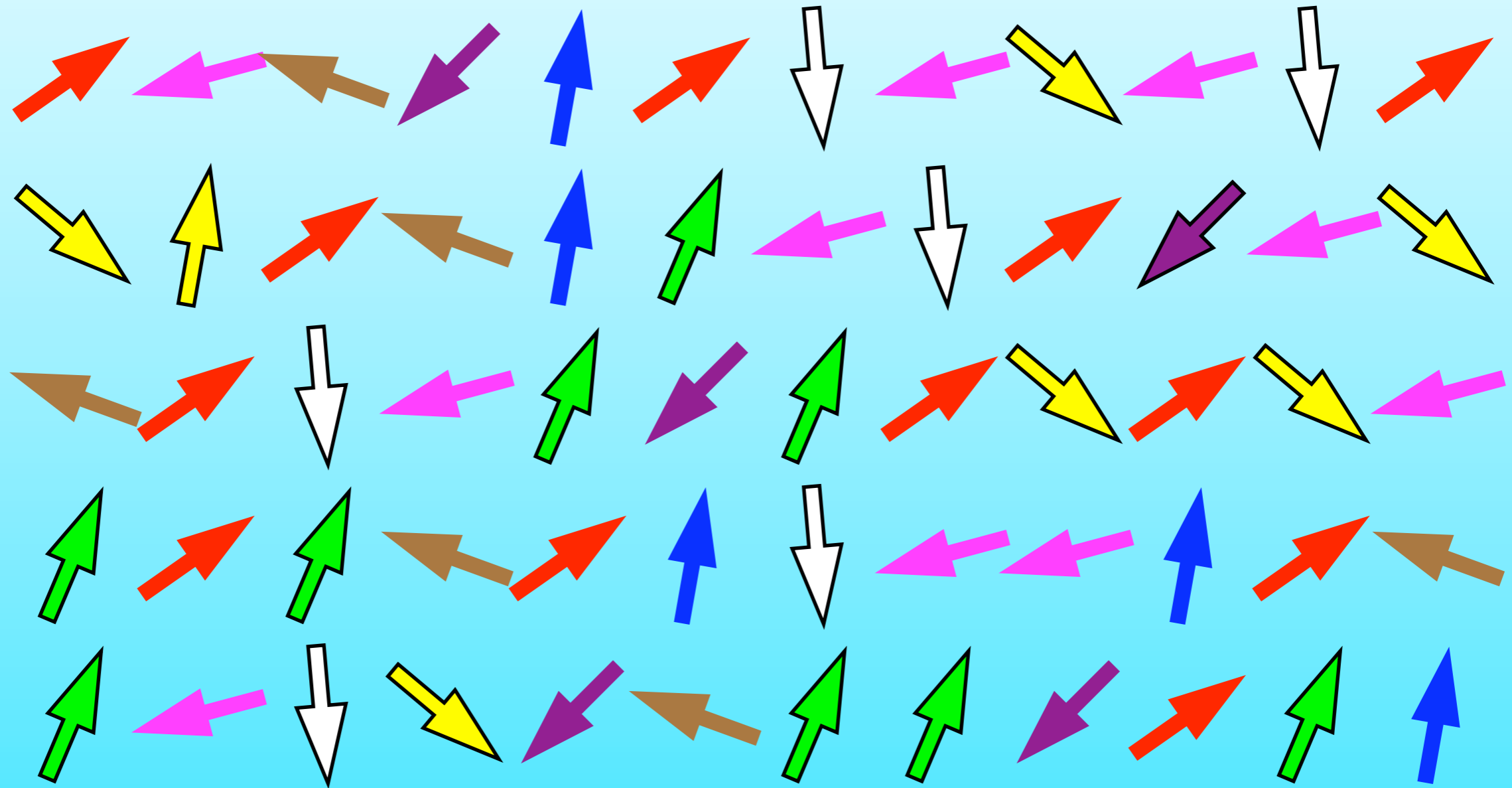
特定の方角を自発的に物質が選び出す！

温度低下による自発的対称性の破れ

Disordered

高温相

Symmetric



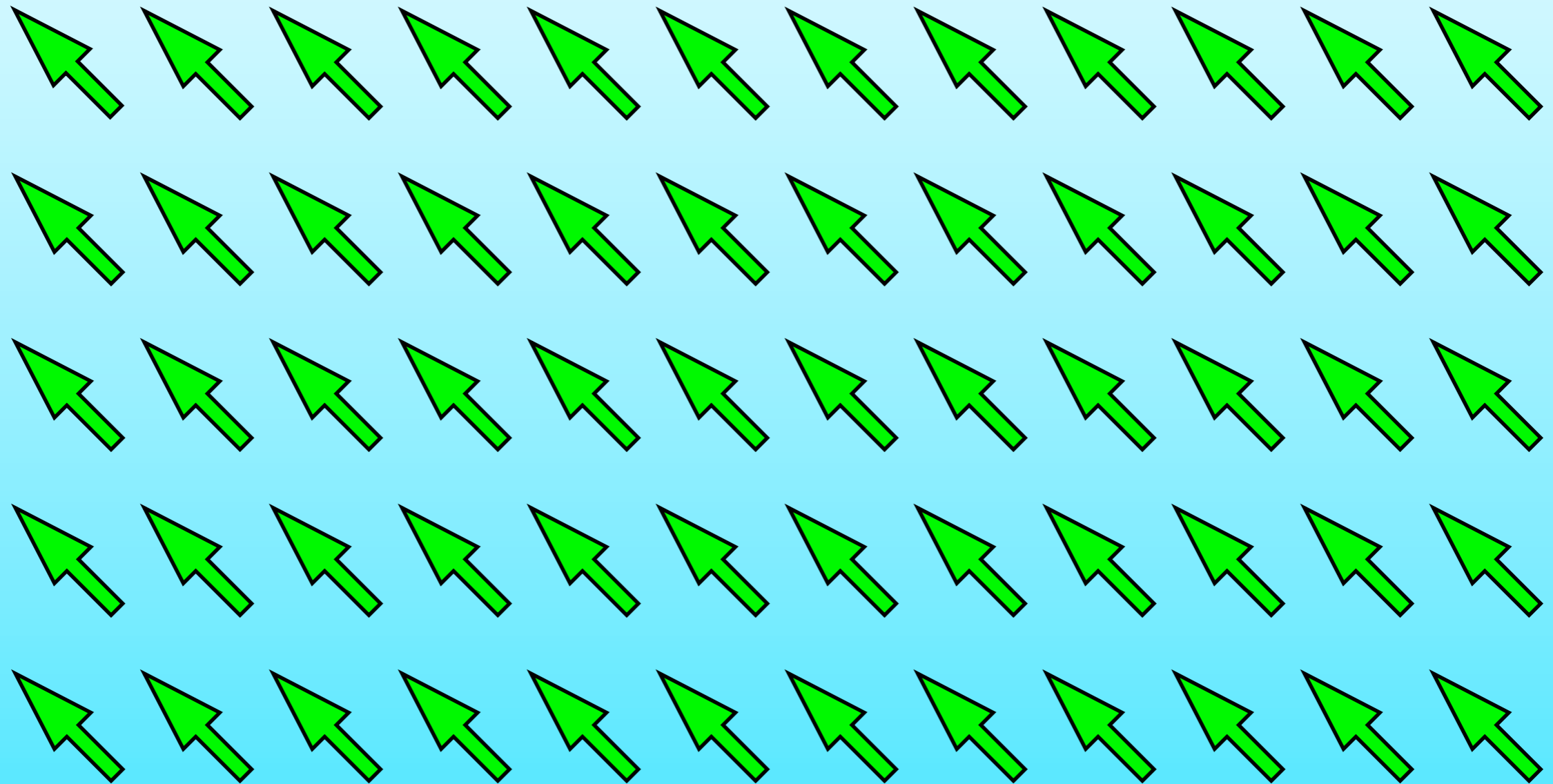
特定の方向が無い：平均的にすべての方向が同等

温度低下による自発的対称性の破れ

Ordered

低温相

Broken Symmetry



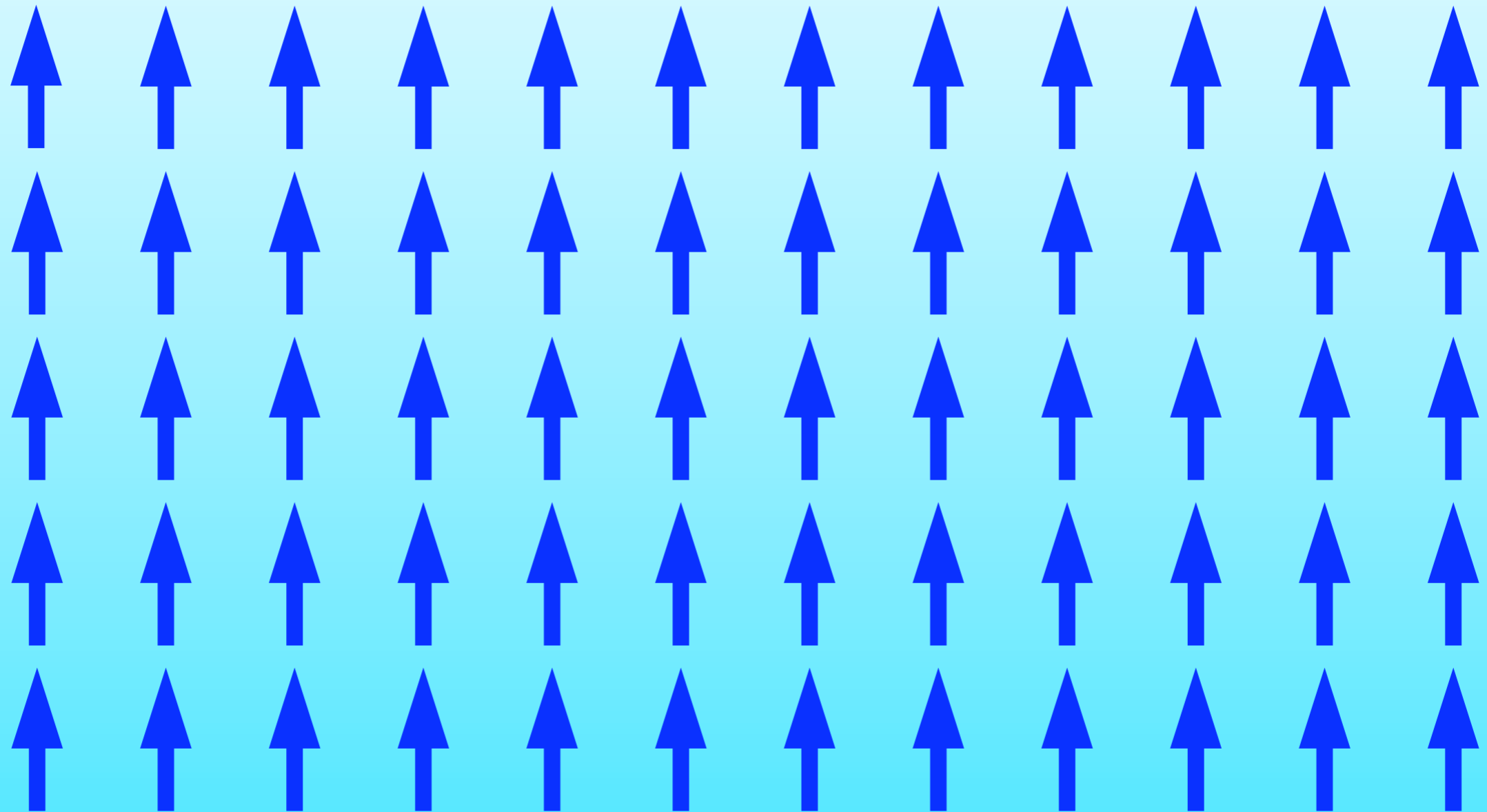
特定の方向を自発的に物質が選び出す！

温度低下による自発的対称性の破れ

Ordered

低温相

Broken Symmetry



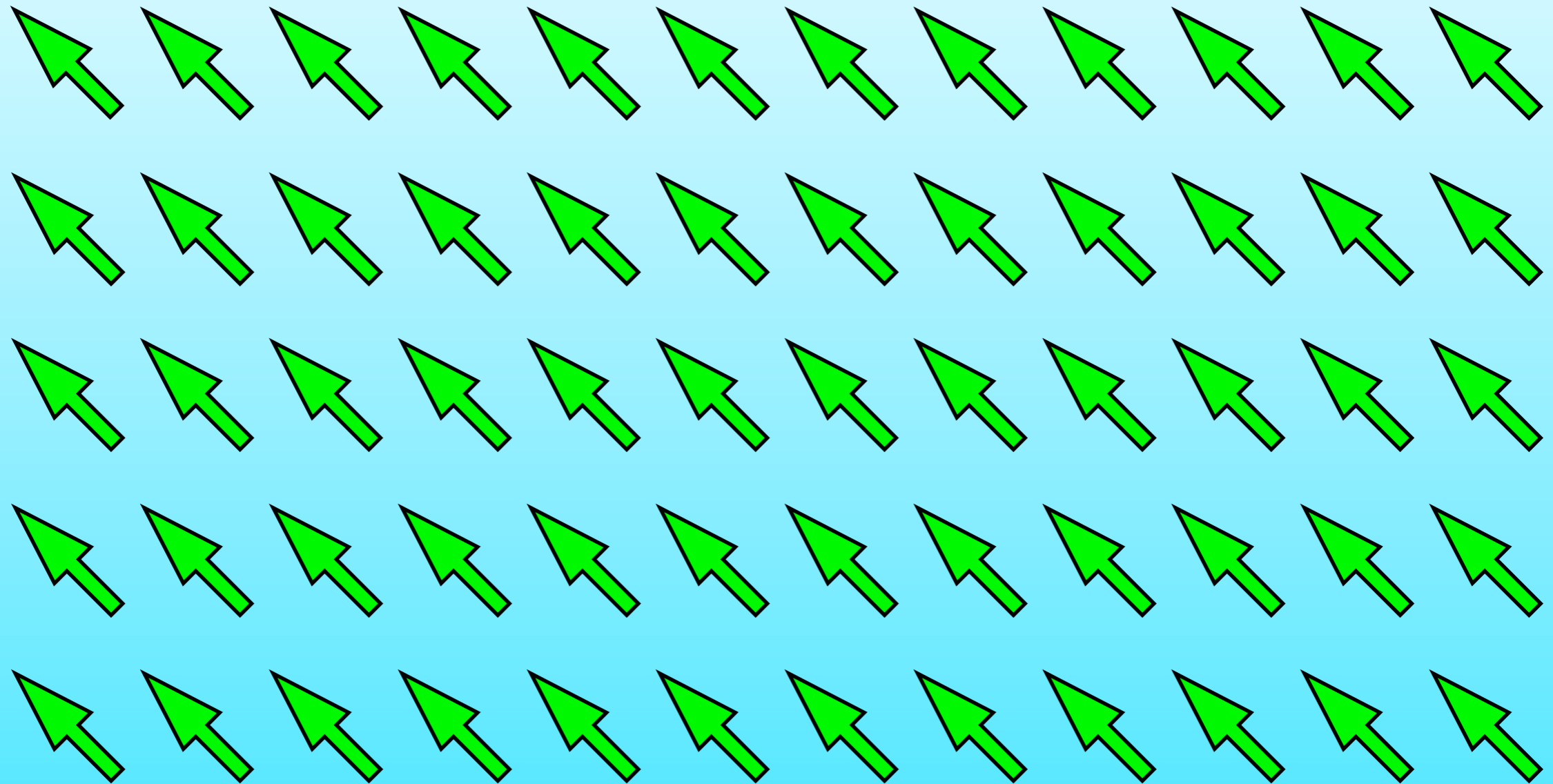
どの方向への対称性の破れ、秩序もやはり同等！！

温度低下による自発的対称性の破れ

Ordered

低温相

Broken Symmetry



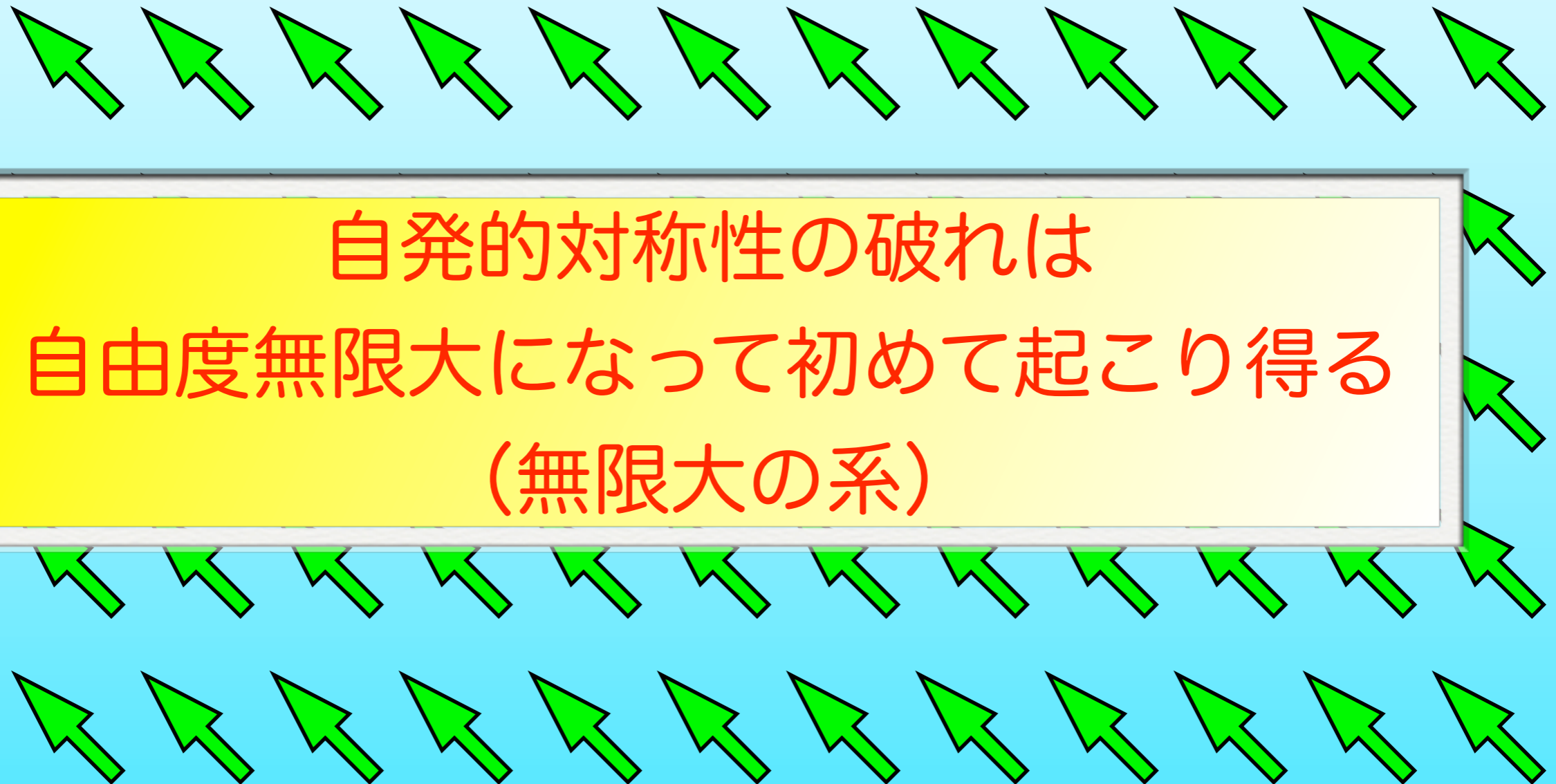
どの方向への対称性の破れ、秩序もやはり同等！！

温度低下による自発的対称性の破れ

Ordered

低温相

Broken Symmetry



自発的対称性の破れは
自由度無限大になって初めて起こり得る
(無限大の系)

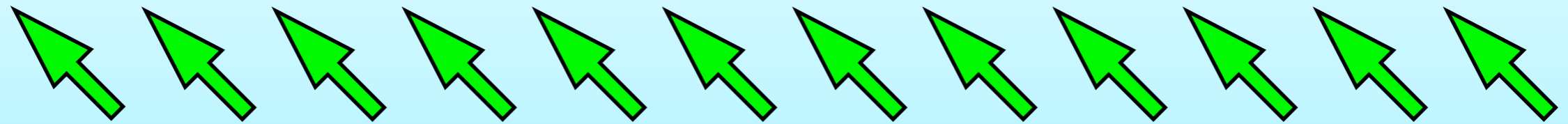
どの方向への対称性の破れ、秩序もやはり同等！！

温度低下による自発的対称性の破れ

Ordered

低温相

Broken Symmetry



自発的対称性の破れは
自由度無限大になって初めて起こり得る
(無限大の系)

More is Different

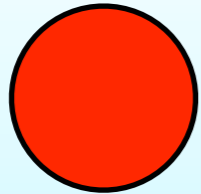
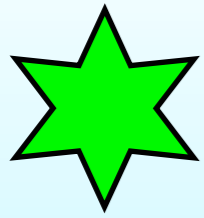
by P.W.Anderson

どの方向への対称性の破れ、秩序もやはり同等！！

連続対称性の自発的破れと *Nambu-Goldston Boson*

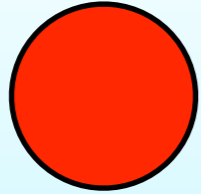
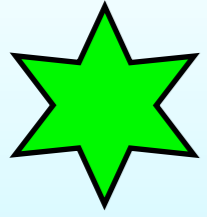
同等な方向が連続無限個ある！

連続対称性の自発的破れと *Nambu-Goldston Boson*

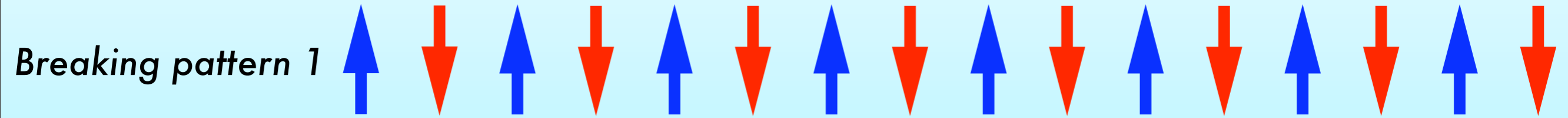


同等な方向が連続無限個ある！

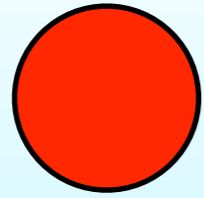
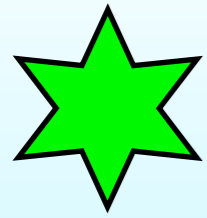
連続対称性の自発的破れと *Nambu-Goldston Boson*



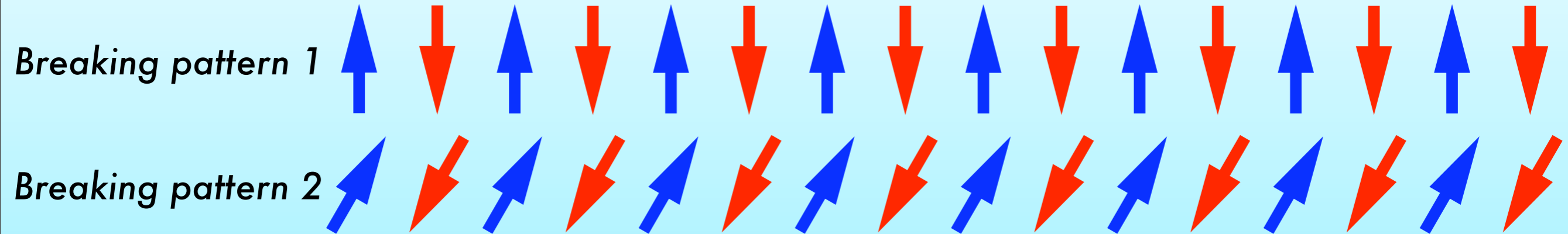
同等な方向が連続無限個ある！



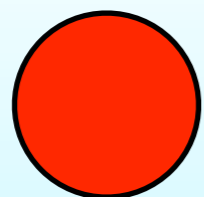
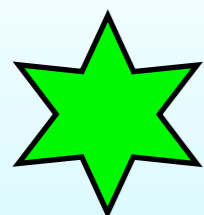
連続対称性の自発的破れと *Nambu-Goldston Boson*



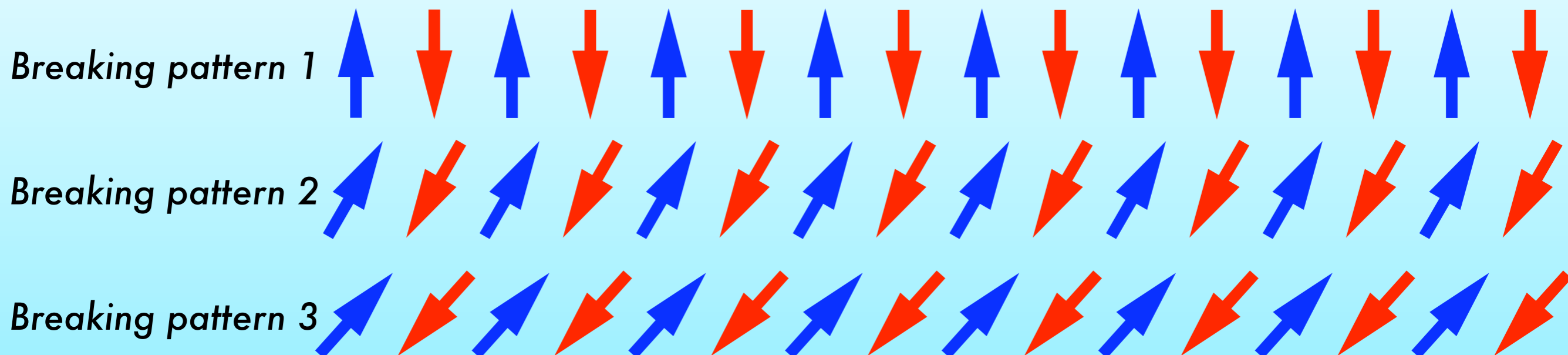
同等な方向が連続無限個ある！



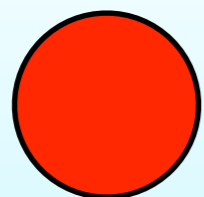
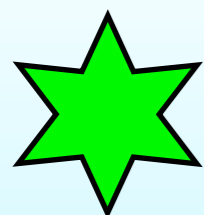
連続対称性の自発的破れと *Nambu-Goldston Boson*



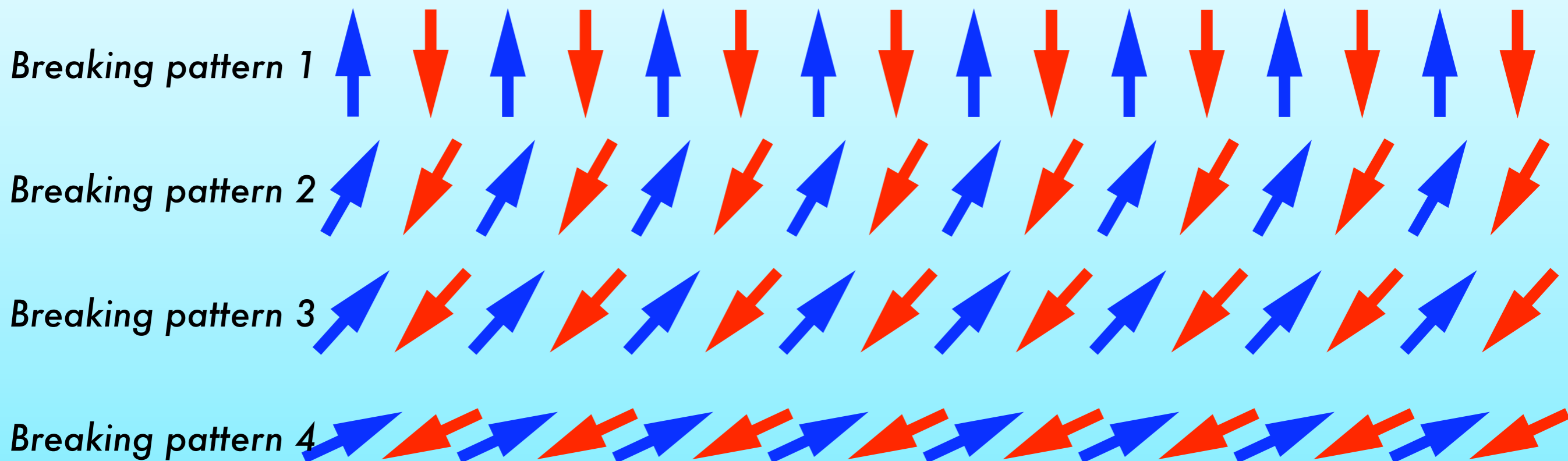
同等な方向が連続無限個ある！



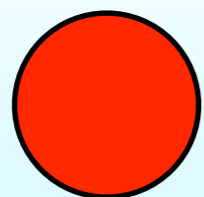
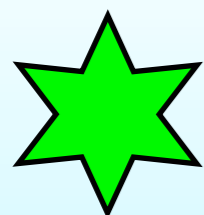
連続対称性の自発的破れと *Nambu-Goldston Boson*



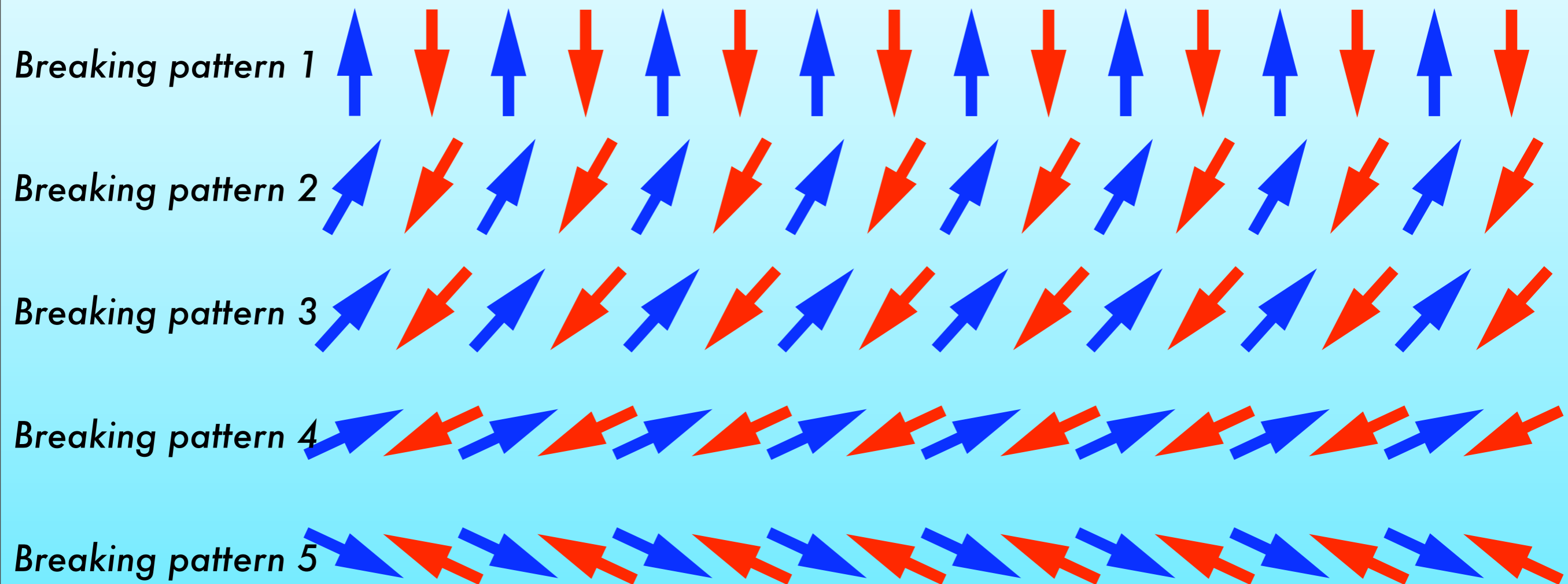
同等な方向が連続無限個ある！



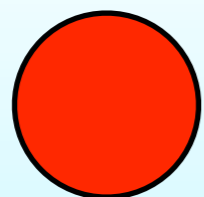
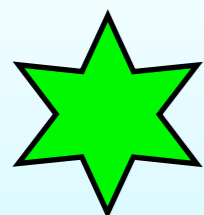
連続対称性の自発的破れと *Nambu-Goldston Boson*



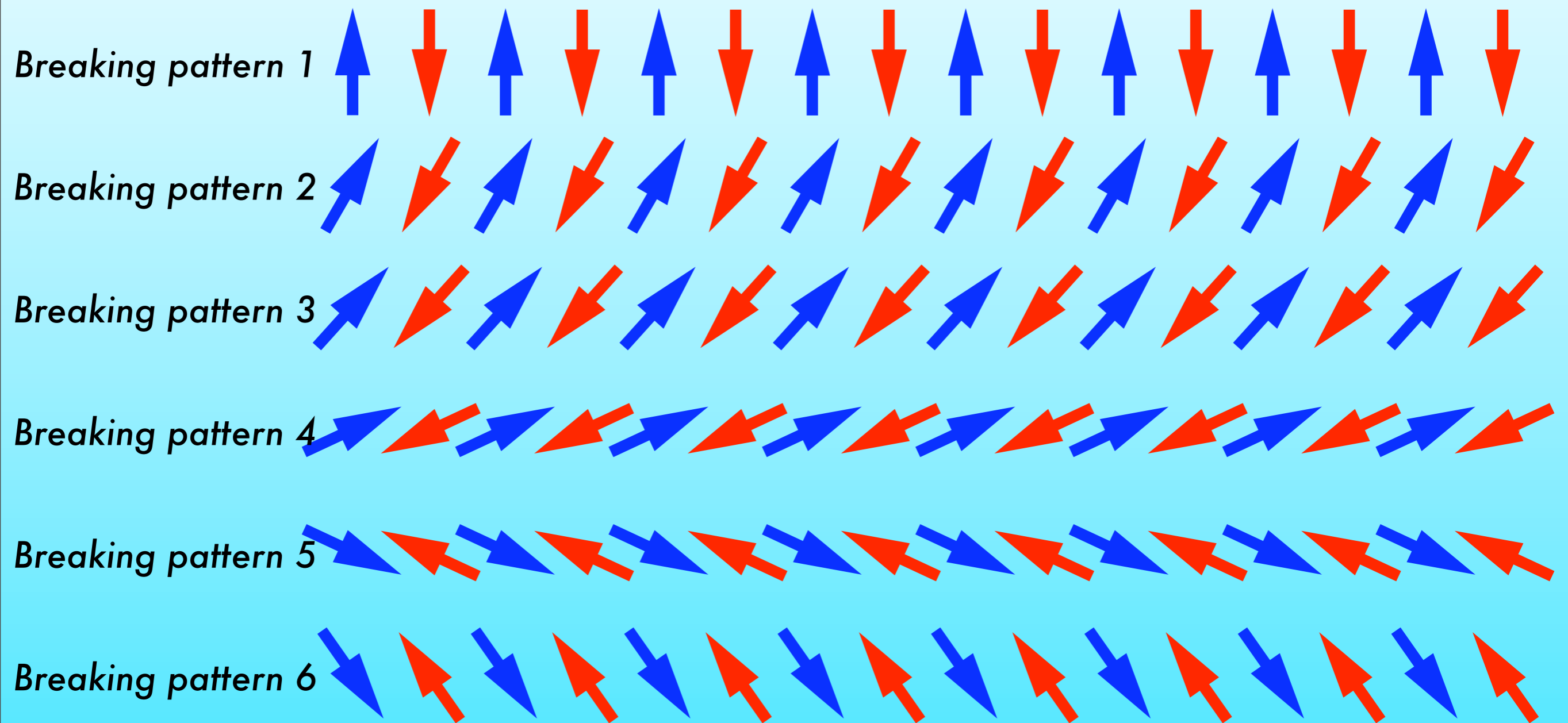
同等な方向が連続無限個ある！



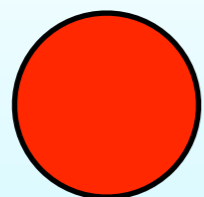
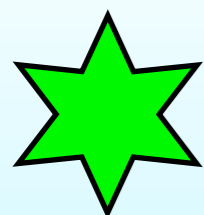
連続対称性の自発的破れと *Nambu-Goldston Boson*



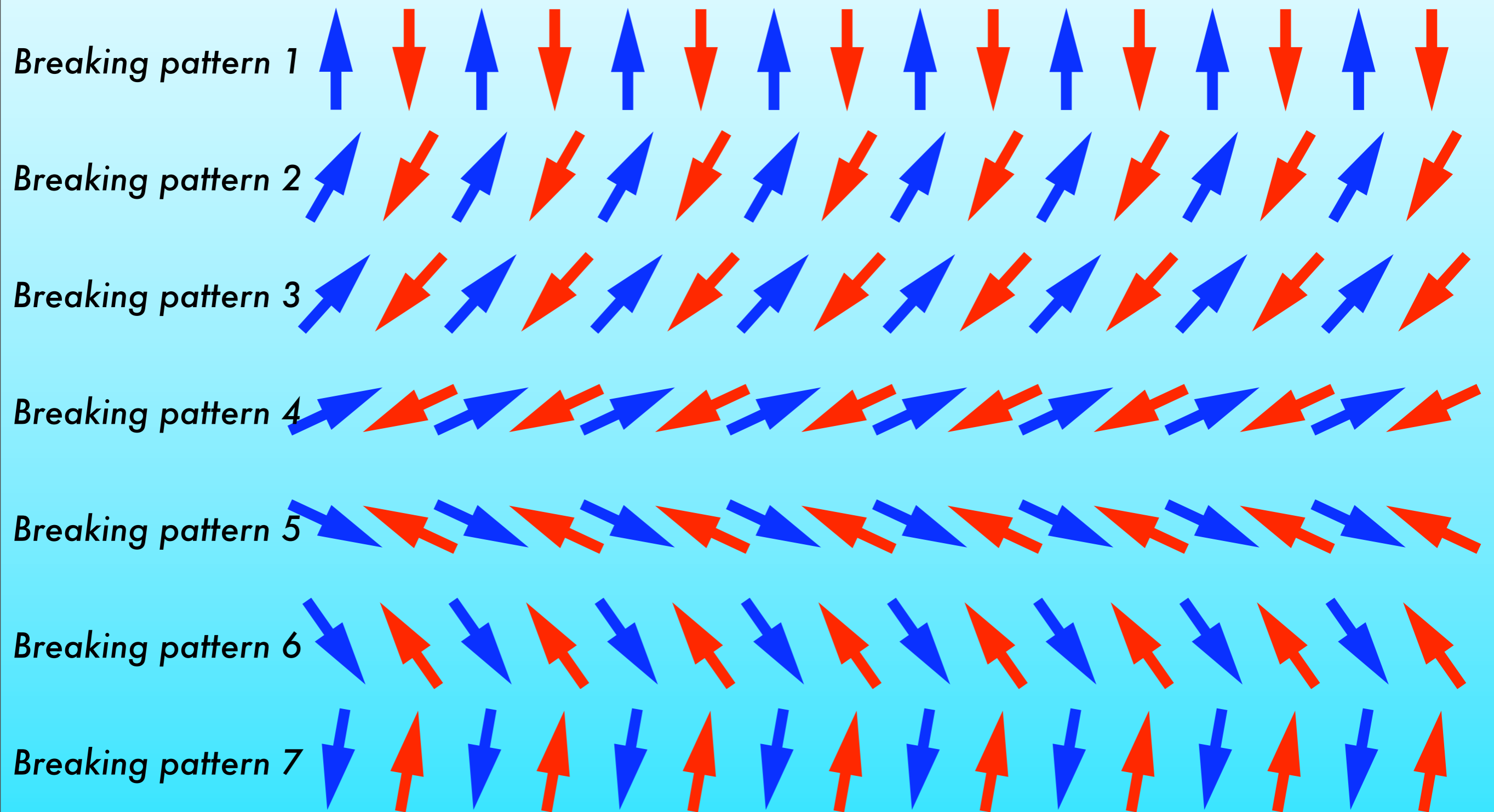
同等な方向が連続無限個ある！



連続対称性の自発的破れと *Nambu-Goldston Boson*



同等な方向が連続無限個ある！



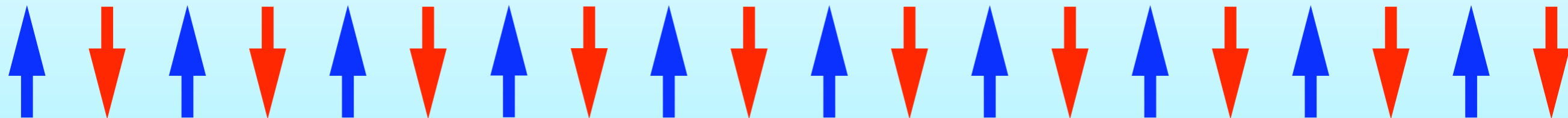
連続対称性の自発的破れと *Nambu-Goldston Boson*

対称性の破れのパターンをゆっくり乱す

連続対称性の自発的破れと *Nambu-Goldston Boson*

対称性の破れのパターンをゆっくり乱す

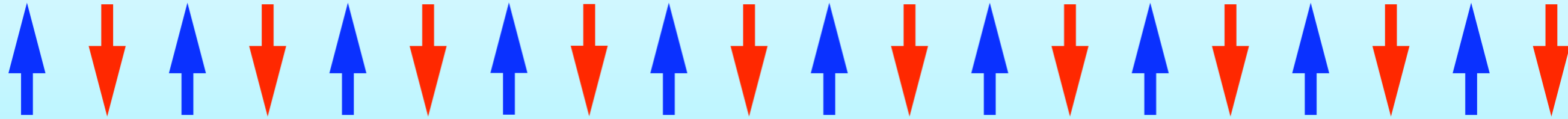
理想的な対称性の破れ



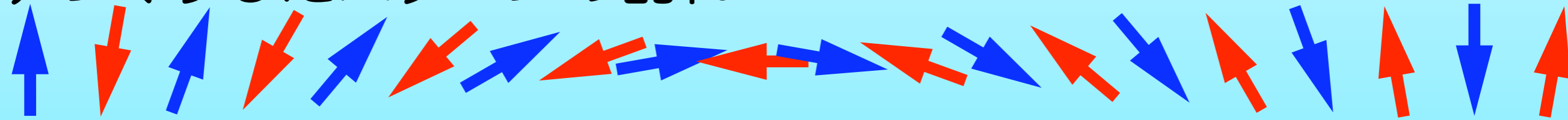
連続対称性の自発的破れと *Nambu-Goldston Boson*

対称性の破れのパターンをゆっくり乱す

理想的な対称性の破れ



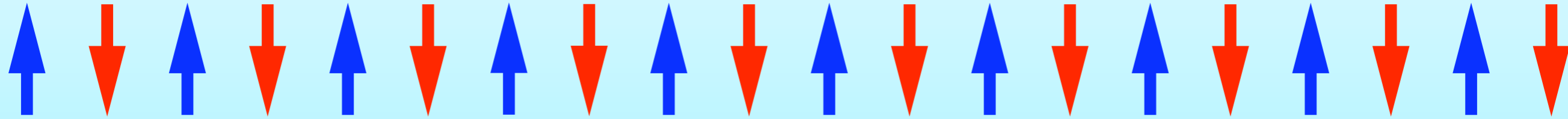
ゆっくり乱したパターンの乱れ



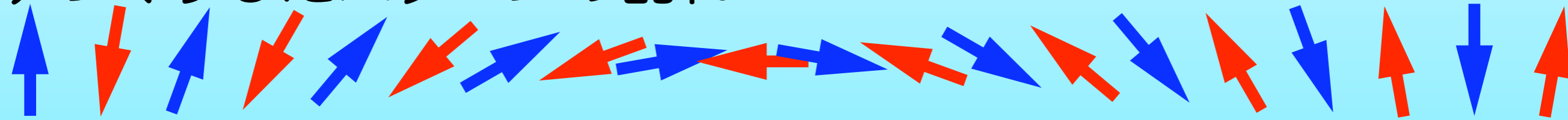
連続対称性の自発的破れと *Nambu-Goldston Boson*

対称性の破れのパターンをゆっくり乱す

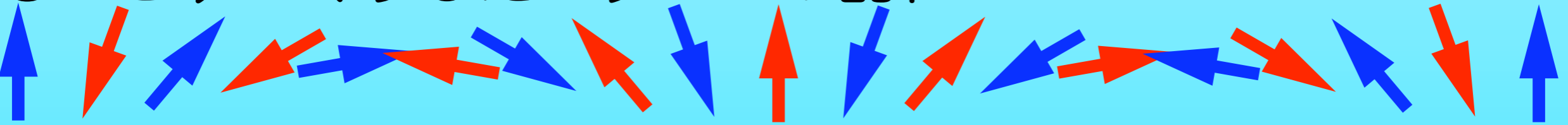
理想的な対称性の破れ



ゆっくりしたパターンの乱れ



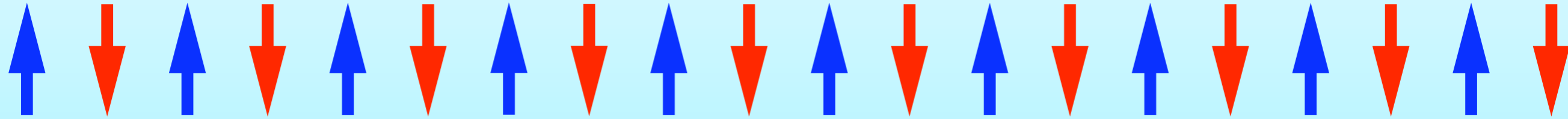
もっとゆっくりしたパターンの乱れ



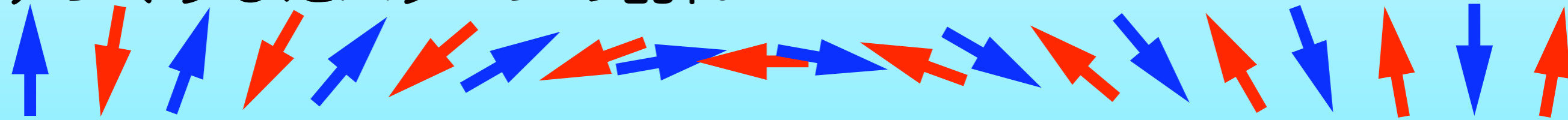
連続対称性の自発的破れと *Nambu-Goldston Boson*

対称性の破れのパターンをゆっくり乱す

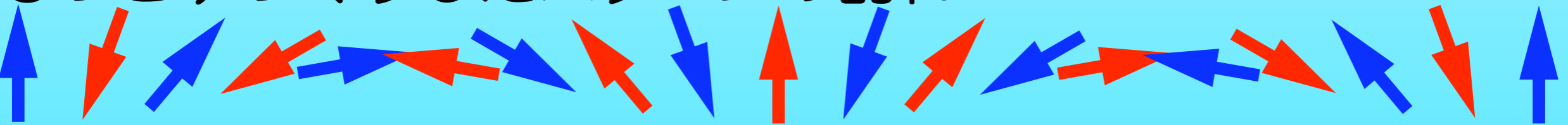
理想的な対称性の破れ



ゆっくりしたパターンの乱れ



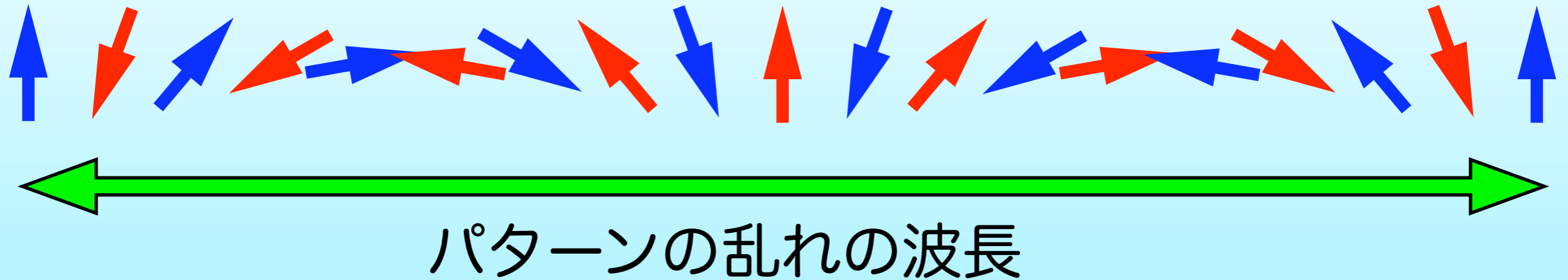
もっとゆっくりしたパターンの乱れ



パターンの乱れの波長

連続対称性の自発的破れと *Nambu-Goldston Boson*

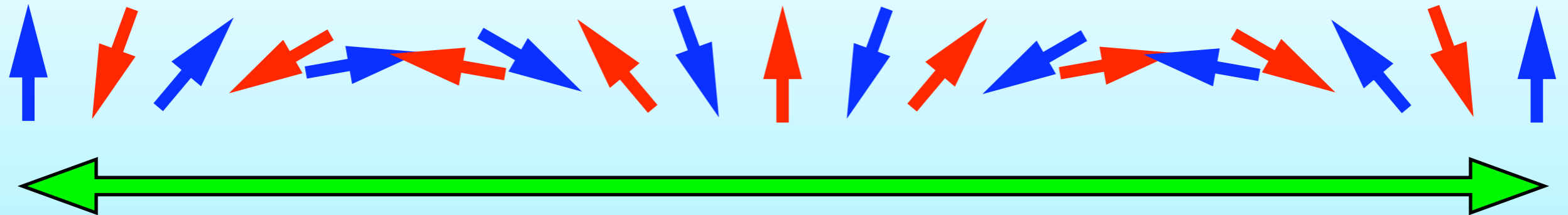
対称性の破れのパターンをゆっくり乱す



パターンの乱れの波長

連続対称性の自発的破れと *Nambu-Goldston Boson*

対称性の破れのパターンをゆっくり乱す

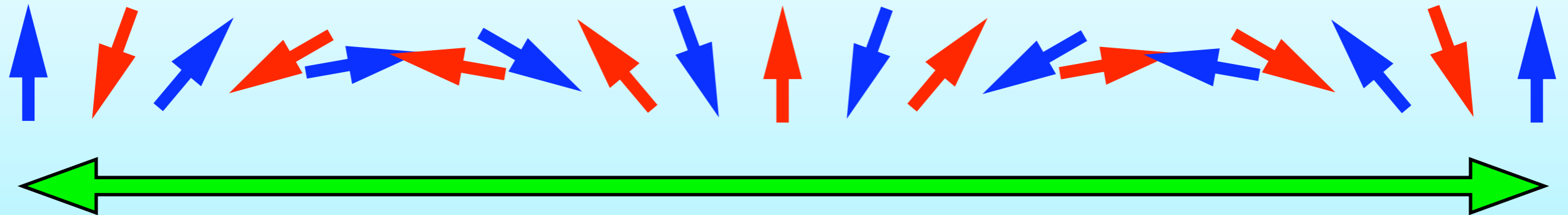


パターンの乱れの波長

長波長のゆっくりした乱れは殆どエネルギーのロスが無い

連続対称性の自発的破れと *Nambu-Goldston Boson*

対称性の破れのパターンをゆっくり乱す



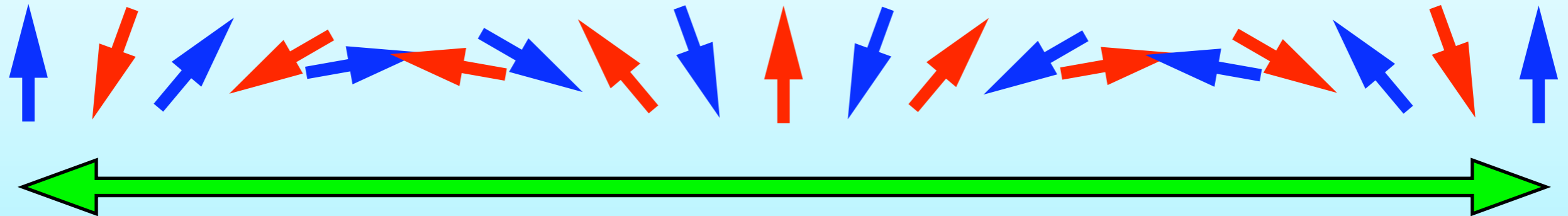
パターンの乱れの波長

長波長のゆっくりした乱れは殆どエネルギーのロスが無い

音波的振る舞い

連続対称性の自発的破れと *Nambu-Goldston Boson*

対称性の破れのパターンをゆっくり乱す



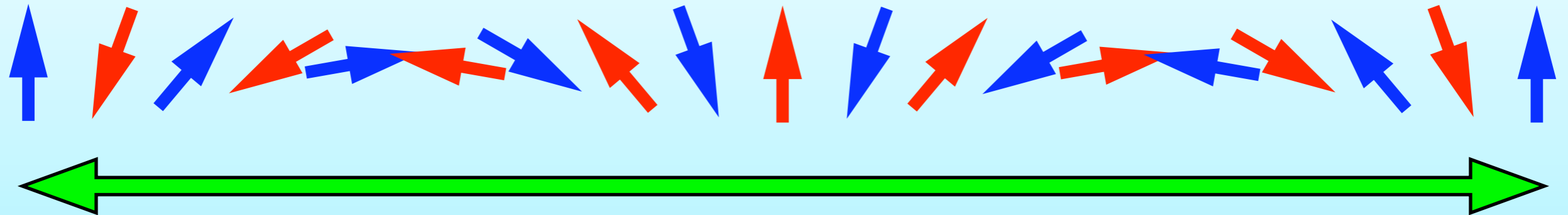
パターンの乱れの波長

長波長のゆっくりした乱れは殆どエネルギーのロスが無い

音波的振る舞い *magnon* (磁性波)

連続対称性の自発的破れと *Nambu-Goldston Boson*

対称性の破れのパターンをゆっくり乱す



パターンの乱れの波長

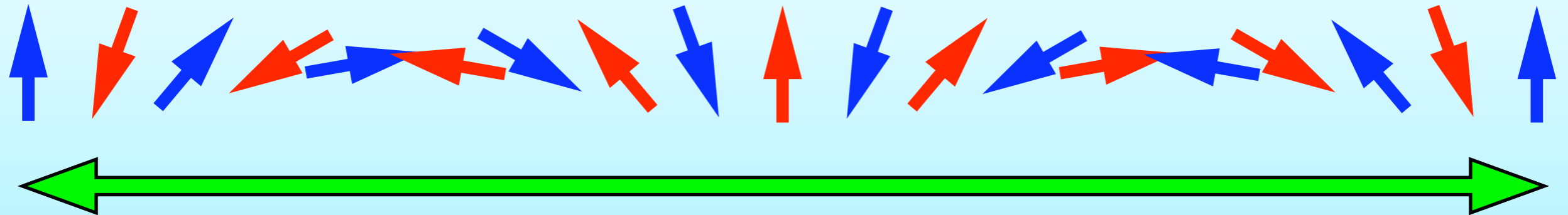
長波長のゆっくりした乱れは殆どエネルギーのロスが無い

音波的振る舞い *magnon* (磁性波)

phonon (格子振動の波)

連続対称性の自発的破れと *Nambu-Goldston Boson*

対称性の破れのパターンをゆっくり乱す



パターンの乱れの波長

長波長のゆっくりした乱れは殆どエネルギーのロスが無い

音波的振る舞い *magnon* (磁性波)

phonon (格子振動の波)

Nambu-Goldston Boson

**Gapless excitation with
Spontaneous Symmetry Breaking**

前半のまとめ

- 物理学とはなにか
- 物理学における対称性
- 物質の相と対称性の破れ
- 自発的対称性の破れ

前半のまとめ

- 物理学とはなにか
- 物理学における対称性
- 物質の相と対称性の破れ
- 自発的対称性の破れ

前半のまとめ

物理学とはなにか

物理学における対称性

物質の相と対称性の破れ

自発的対称性の破れ

前半のまとめ

- 物理学とはなにか
- 物理学における対称性
- 物質の相と対称性の破れ
- 自発的対称性の破れ

前半のまとめ

- 物理学とはなにか
- 物理学における対称性
- 物質の相と対称性の破れ
- 自発的対称性の破れ

ご苦労様でした