

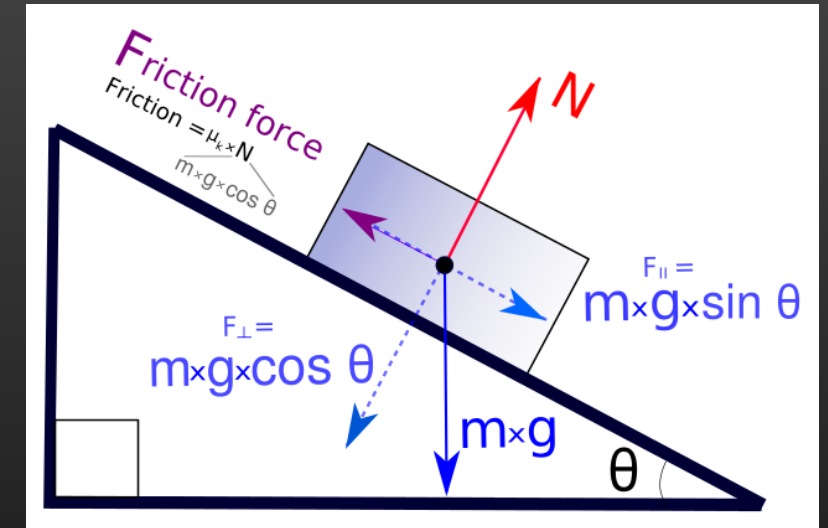
PV255 – Fyzika ve hrách

Osnova

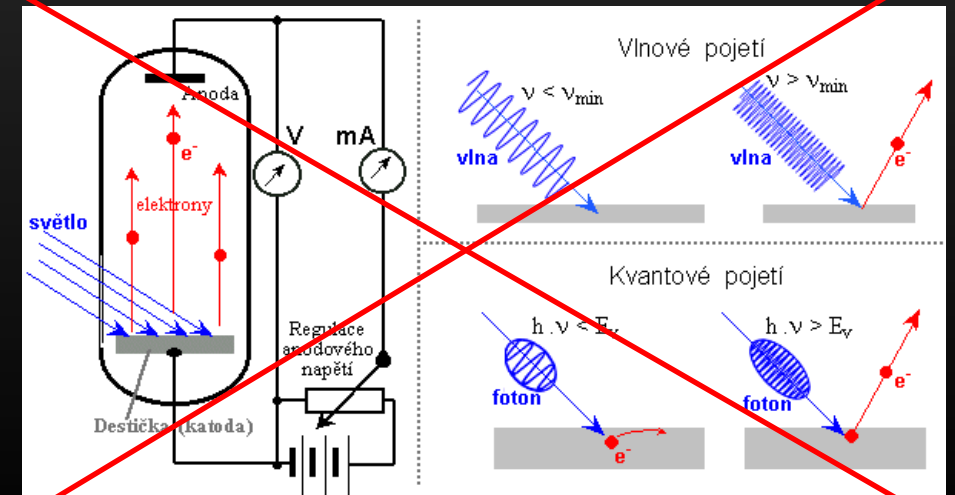
- Úvod
- Pevná tělesa
 - Kolize
 - Mechanika
- Deformovatelná tělesa
 - Ragdoll
 - Látky
 - Deformace
- Částicové systémy

Úvod – fyzika v reálném světě

- Zajímá nás především mechanika pevných těles, tj. jejich pohyb a vzájemné interakce



- Mimo rámec: termika, molekulová fyzika, elektromagnetismus, **optika**, atomová fyzika, astrofyzika, ...



Úvod – fyzika v reálném světě

- Reálná, nikoli tuhá tělesa:
 - Objem, hmotnost,
 - hustota, pevnost,
 - pružnost, ...



Úvod – fyzika v reálném světě

Newtonovy pohybové zákony:

1. **Zákon setrvačnosti:** Jestliže na těleso nepůsobí žádné vnější síly nebo výslednice sil je nulová, pak těleso setrvává v klidu nebo v rovnoměrném přímočarém pohybu.
2. **Zákon síly:** Jestliže na těleso působí síla, pak se těleso pohybuje se zrychlením, které je přímo úměrné působící síle a nepřímo úměrné hmotnosti tělesa.
3. **Zákon akce a reakce:** Proti každé akci vždy působí stejná reakce; jinak: vzájemná působení dvou těles jsou vždy stejně velká a míří na opačné strany.



Momentum

Your truck has brakes...the massive hunk of stone doesn't

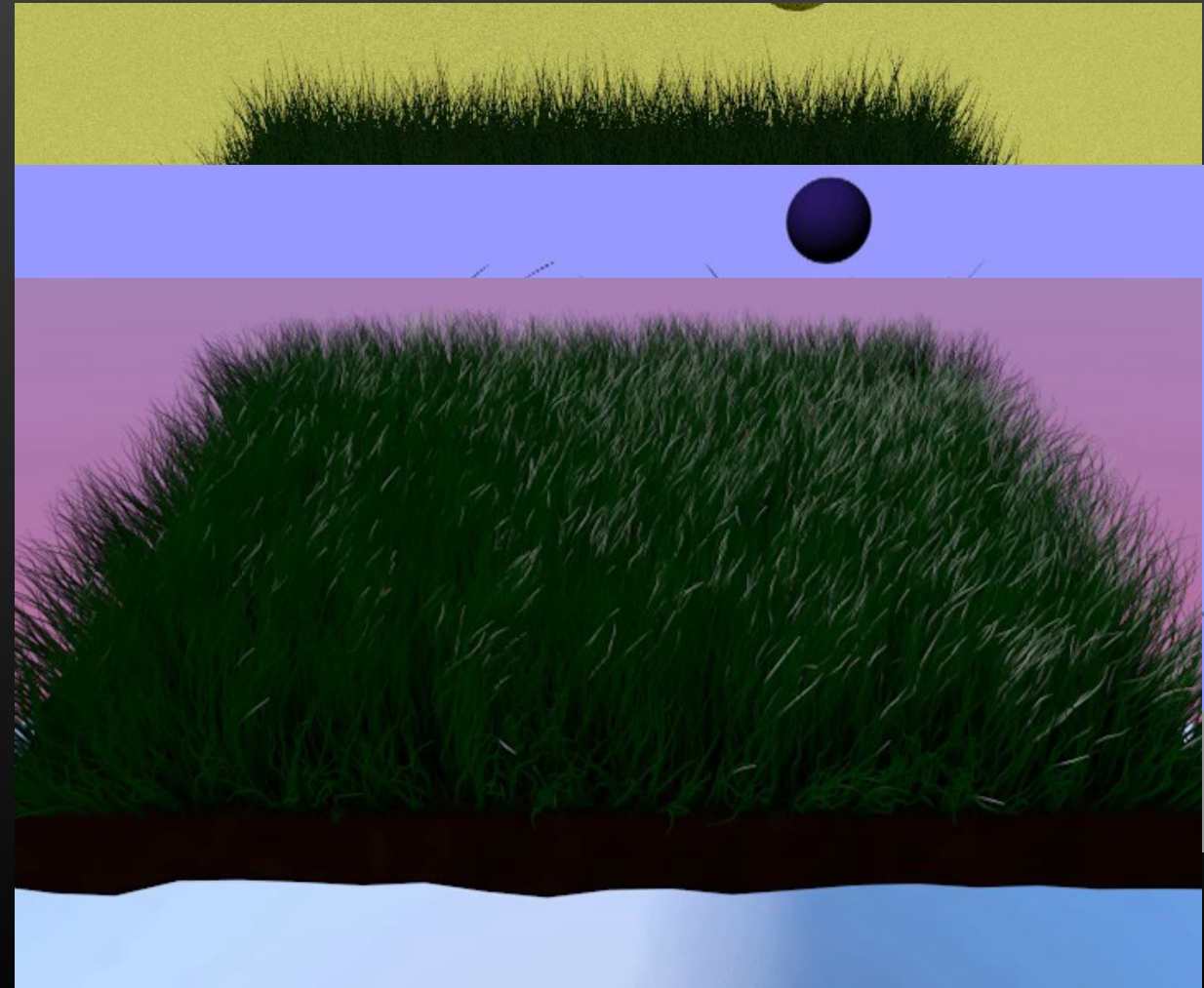
Úvod – fyzika v reálném světě

- Tření
 - Smykové tření
 - Klidové tření
 - Odpor prostředí
 - Valivý odpor
 - Vnitřní tření



Fyzika v (off-line) počítačové grafice

- Nepočítá se:
 - To, co obvykle není vidět (vznik tepla při tření)
- Tuhá i deformovatelná tělesa
- Dynamika kapalin
 - Cinema4D, Max, ...
 - Libor Materna: *Porovnání fyzikálních simulací v oblasti počítačové grafiky*



Cinema 4D

Fyzika v (off-line) počítačové grafice

"Animation follows the laws of physics—unless it is funnier otherwise."

Art Babbitt
Animator, Walt Disney Studios



„A body suspended in space will remain in space until made aware of its situation.“

Fyzika ve hrách

- Oddělená od grafiky
- Nepočítá se:
 - To, co není vidět
 - To, co neumíme rozumně rychle (60 fps)
- Co umíme dostatečně rychle:
 - Kolize
 - Dynamiku
 - Působení sil
 - Tření
 - Odpor prostředí
 - klouby
 - Nově také deformace, destrukce

Snímkovací frekvence

- Reálný svět – spojitý
- Nyquistův (Shannonův, Kotělnikovův) vzorkovací teorém
- Obraz:
 - Kinofilm: 24 fps
 - „plynulé“ pro lidské oko: 25 fps (16, 30)
 - Zobrazovací zařízení: alespoň 60 Hz
 - Hry: variabilní FPS: 15 až 120 Hz
- Zvuk:
 - první telefony: 8 kHz
 - Audio CD: 44 kHz
 - Blu-ray: 192 kHz
 - 1-bit DSD: 5 644 kHz
- Fyzika:
 - Nastavitelná frekvence, obvykle: 60 fps (Unity: 50 fps)
 - **Pevný čas na snímek** (Fixed update time)
 - Haptika (silová zpětná vazba): alespoň 1000 Hz
- Grafické, zvukové, fyzikální karty (slepá větev)

Realný svět vs. fyzikální engine

- Existují pevné objekty
 - Neplatí v reálném světě (cokoli lze posunout / rozbít)
 - Platí ve fyzikálních engine (obvykle)
- Tvar tělesa má vliv na odpor vzduchu (tření)
 - Platí v reálném světě
 - Neplatí (obvykle) ve fyzikálních engine
- Těžší předměty padají rychleji
 - Neplatí v reálném světě
 - Neplatí (obvykle) ani ve fyzikálních engine

Fyzikální engine

- Box2D
- Bullet (Blender)
- Cryengine
- Havok
- Newton Game Dynamics
- PhysX (Unity, Unreal Engine)
- Tokamak
- ...

Fyzika ve hrách je matematika...

Měli bychom znát:

- Vektory
 - Sčítání, násobení skalárem
 - Skalární, vektorový součin
 - Jednotkový vektor

- Matice
 - Sčítání, násobení
 - Transpozice
 - Determinant
 - Inverzní matice

- Transformace – 2D i 3D
 - Translace, rotace, změna měřítka
 - Quaterniony

- Numerické metody

Herní fyzika – „taxonomie“

- Pevná tělesa (rigid bodies)
 - Dynamika
 - Kolize
 - Klouby
- Deformovatelná tělesa (soft bodies)
 - Deformace
 - Destrukce
 - Látky
 - Rag-doll
 - Vlasy, srst
- Simulace tekutin
- Částicové systémy

Osnova

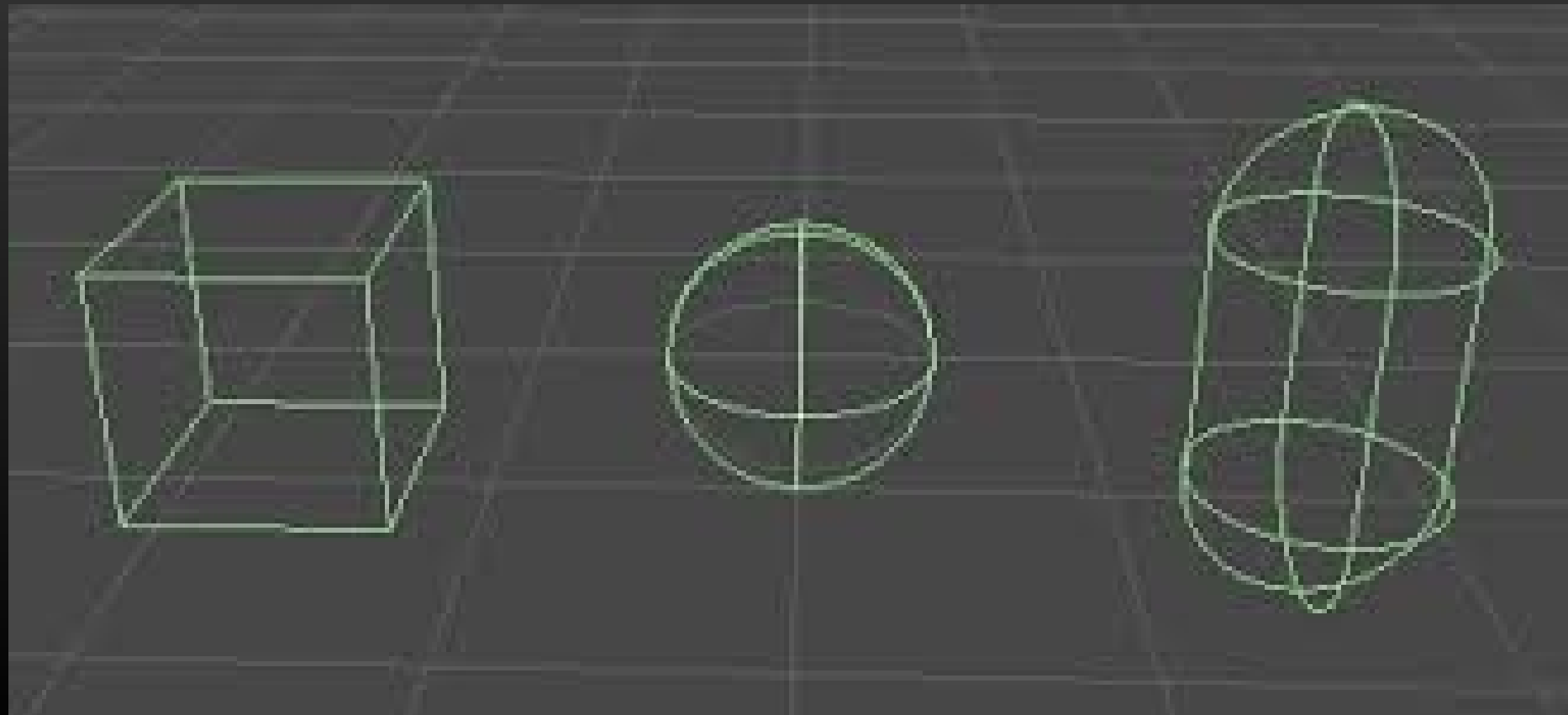
- Úvod
- Pevná tělesa
 - **Kolize**
 - Mechanika
- Deformovatelná tělesa
 - Ragdoll
 - Látky
 - Deformace
- Částicové systémy

Kolize

- Detekce kolizí používá téměř každá hra
 - Ne vždy založeno na fyzikálním engine
 - Velmi časté => musí být velmi rychlé
- Grafická reprezentace objektu
 - Polygonální síť + textury
 - Voxely
- Fyzikální reprezentace objektu
 - Kolizní geometrie – „colliders“, „obálka“

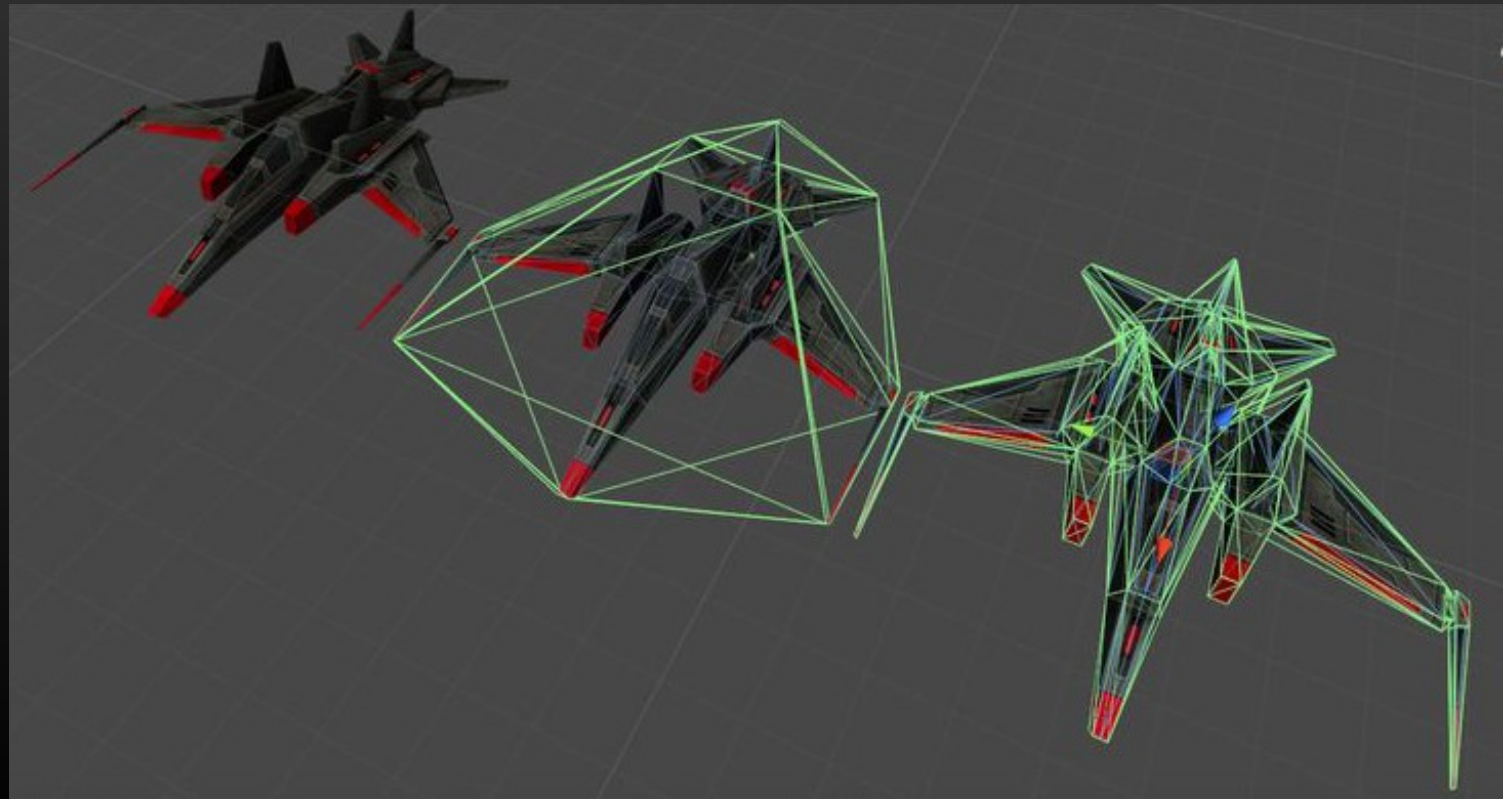
Kolizní geometrie („colliders“)

- Grafická primitiva
 - kvádr, koule, kapsle; kolo („wheel“, Unity)
 - Nejrychlejší výpočet kolizí, často dostačující



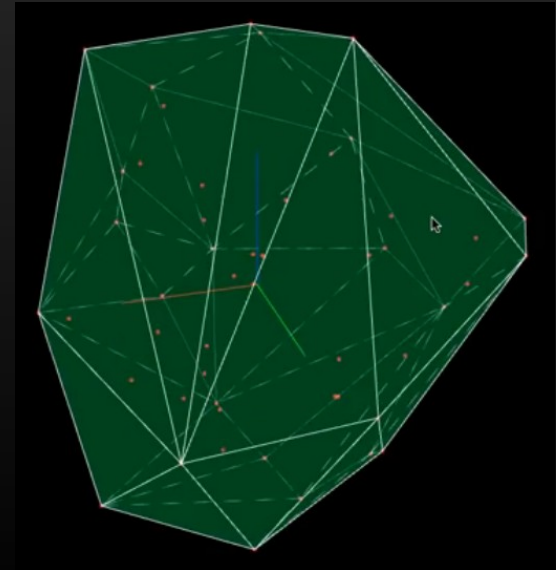
Kolizní geometrie („colliders“)

- Mesh:
 - Mnohem náročnější výpočty
 - PhysX (starší)
 - Nekonvexní collider pouze na statické objekty
- Unity
 - pouze konvexní mesh collidery mohou kolidovat s jinými mesh collidery



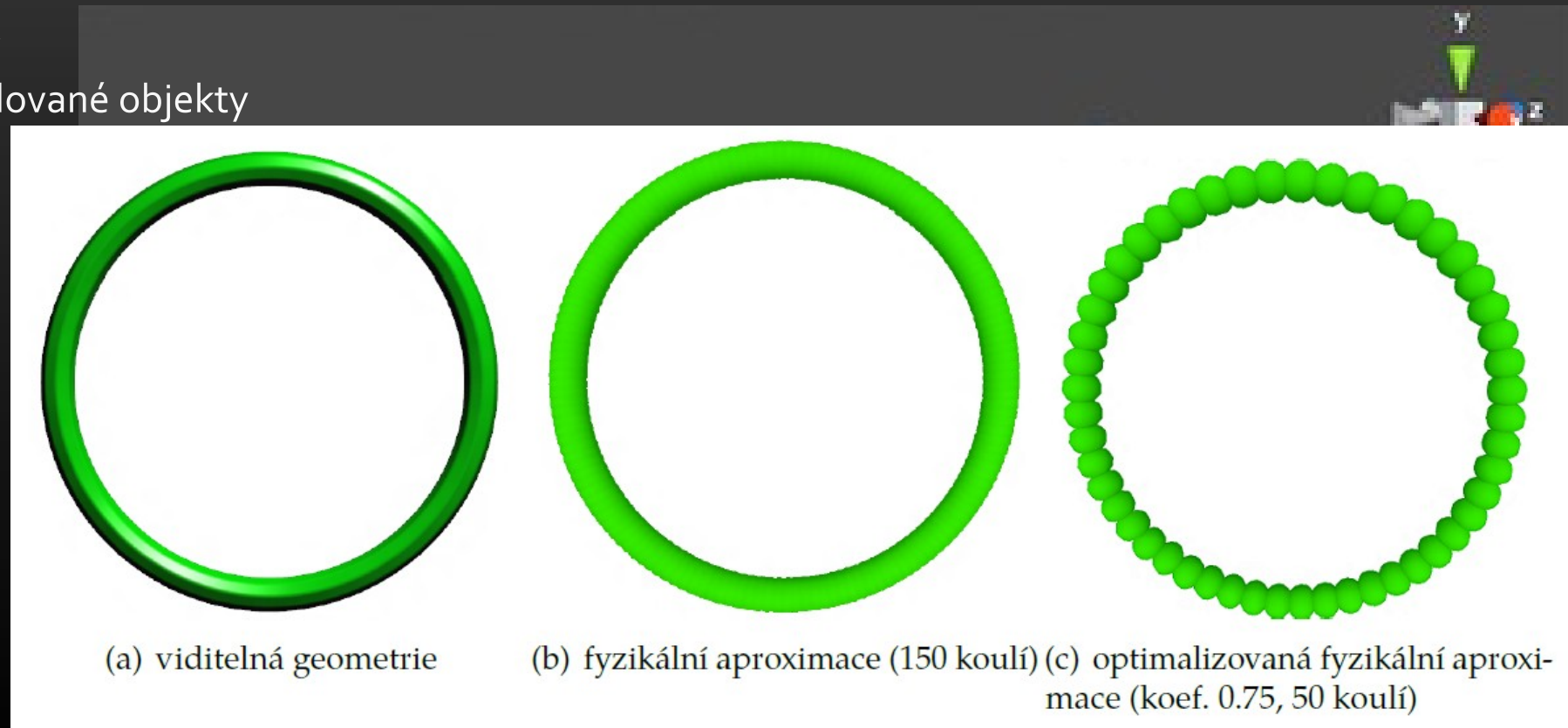
Kolizní geometrie („colliders“)

- Jak vytvářet mesh collider:
 - Ručně – zachovat obrysy
 - Algoritmy „Mesh Decimation“
 - Může vzniknout nekonvexní obálka
 - Konvexní obálka: „QuickHull“ algoritmus
 - Článek: <http://www.cise.ufl.edu/~ungor/courses/fallo6/papers/QuickHull.pdf>
 - Video: https://www.youtube.com/watch?v=Z58_Zsa6YTo

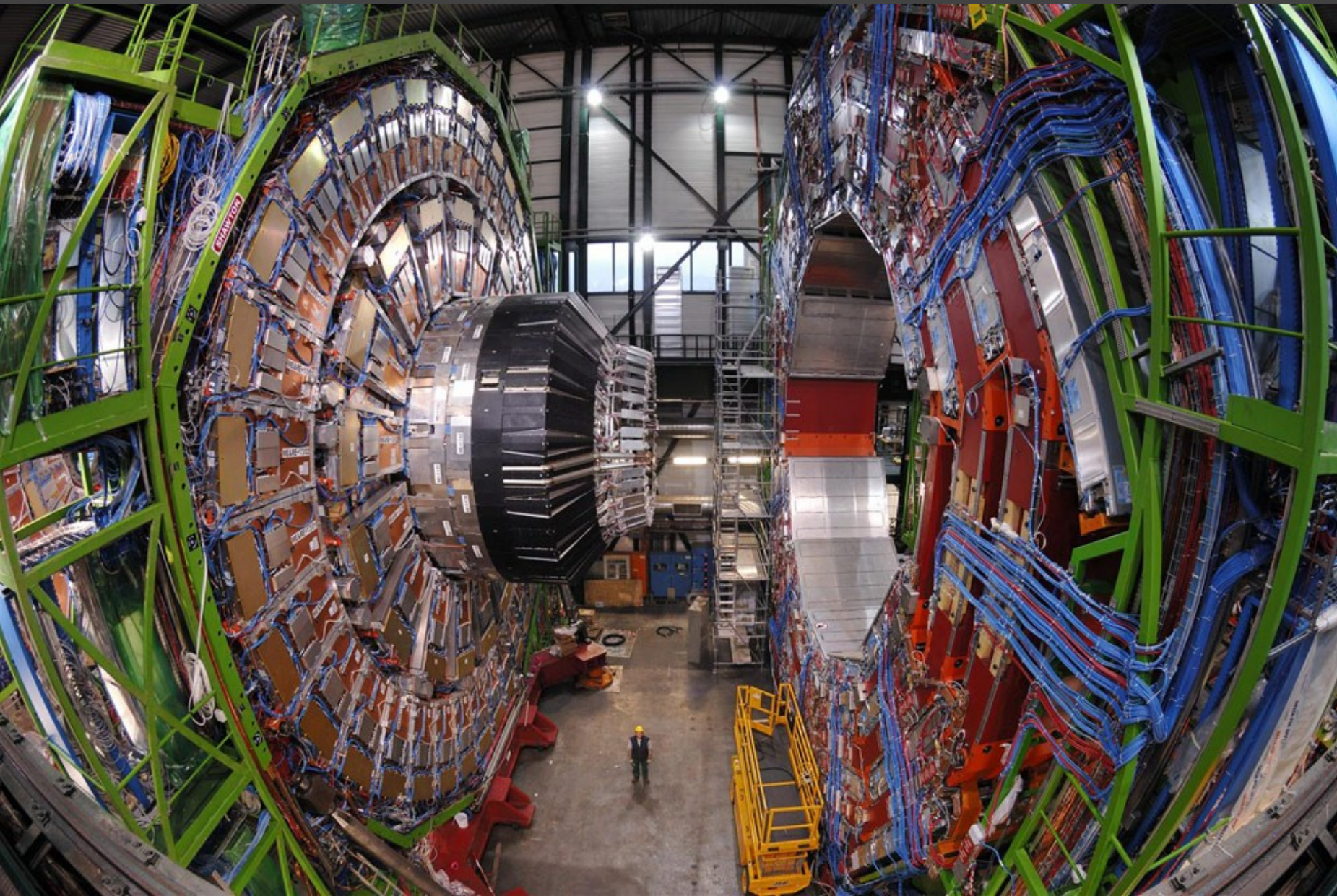


Kolizní geometrie („colliders“)

- Složený („compound“) collider:
 - Více primitivní tvarů tvoří jeden collider
 - Rychlé, dostatečně přesné pro velkou škálu modelů
 - Lze použít pro:
 - Nekonvexní modely
 - procedurálně modelované objekty



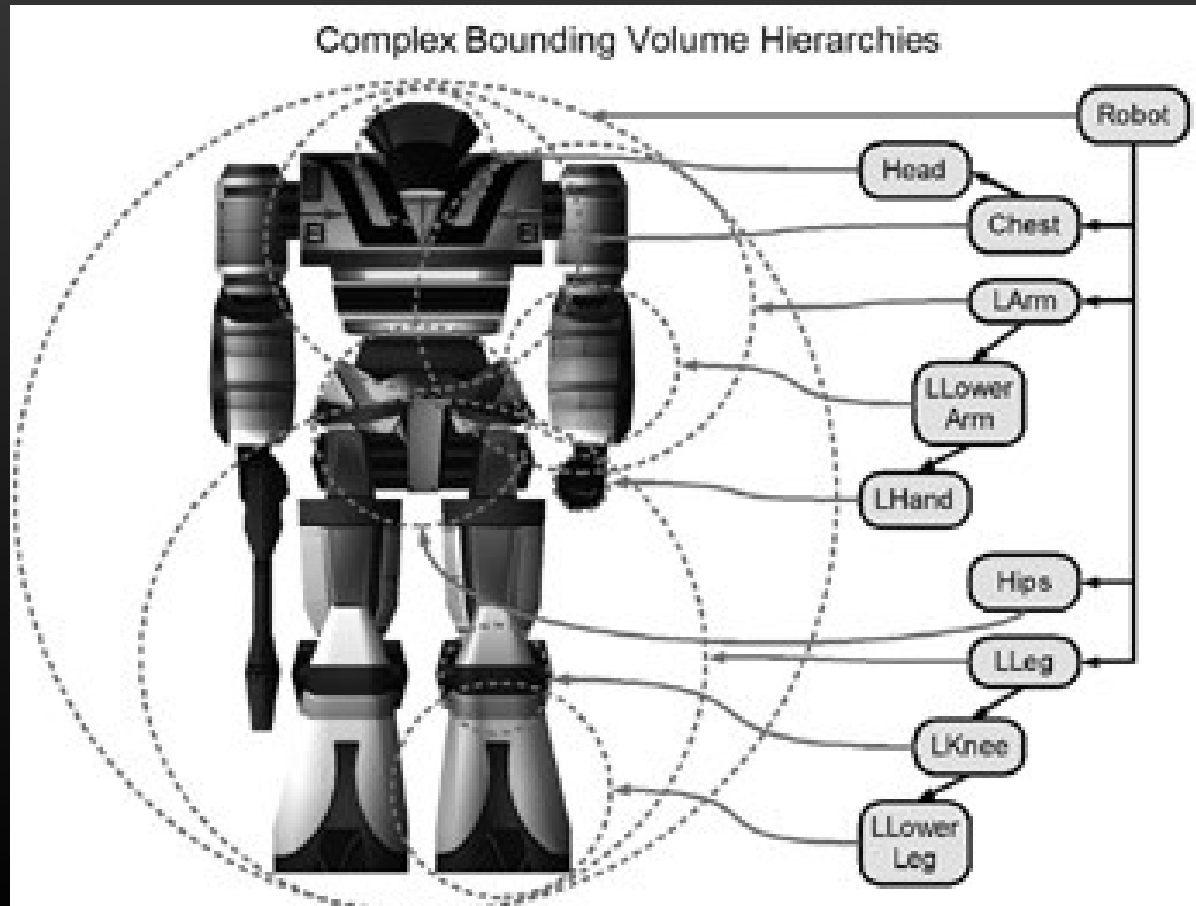
„Colliders“ mimo herní svět...



LHC – Large Hadron collider

Kolizní geometrie – hierarchie obálek

- „Bounding volumes hierarchies“
 - Vyšší paměťové nároky
 - Výrazné zrychlení na „velkých“ scénách

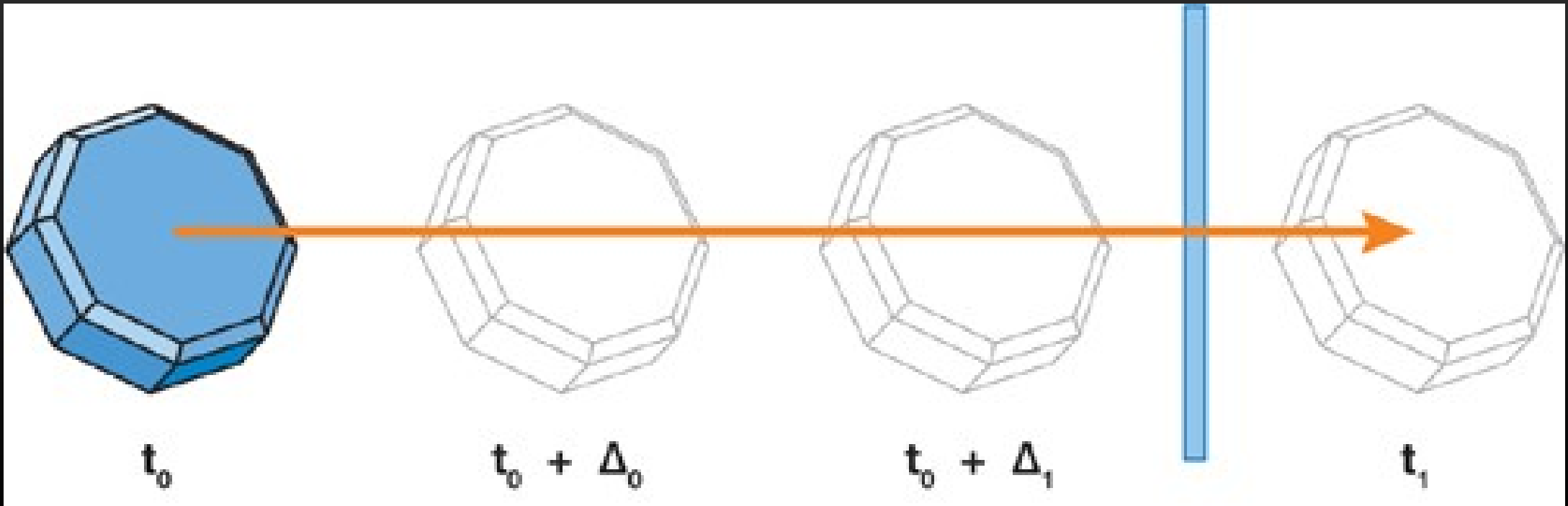


Výpočty kolizí

- Statické
 - Neovlivnitelné fyzikálními silami (gravitace, síly)
 - Terén, budovy
 - Složitější collidery
 - Nekolidují navzájem
- Dynamické objekty
 - Ovlivnitelné fyzikou
 - Obvykle Jednodušší collidery

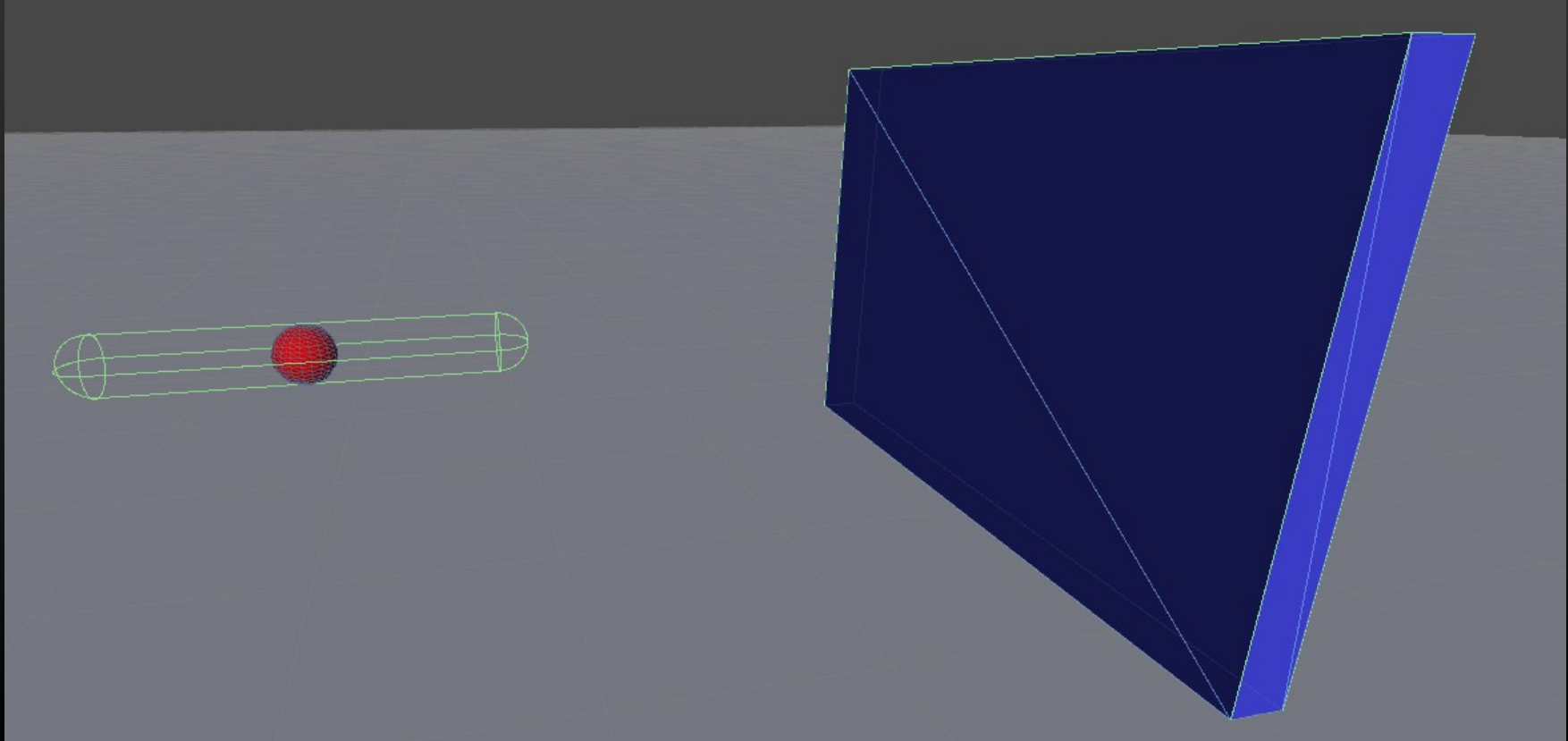
Výpočet kolizí: diskrétní

- Diskrétní výpočet
 - Jednodušší, rychlejší
 - Kolize jsou kontrolovány v pevných časových intervalech (Unity: 0,02s)
 - Problém u rychlých objektů („tunneling“)



Výpočet kolizí: diskrétní

- Řešení problému s diskrétním výpočtem:
 - Globální zmenšení časového kroku
 - Náročnější na výpočet (všechny kolize se řeší častěji)
 - Změna tvaru collideru (*Second Life*)
 - Použití spojitého výpočtu
 - pro jednotlivé objekty



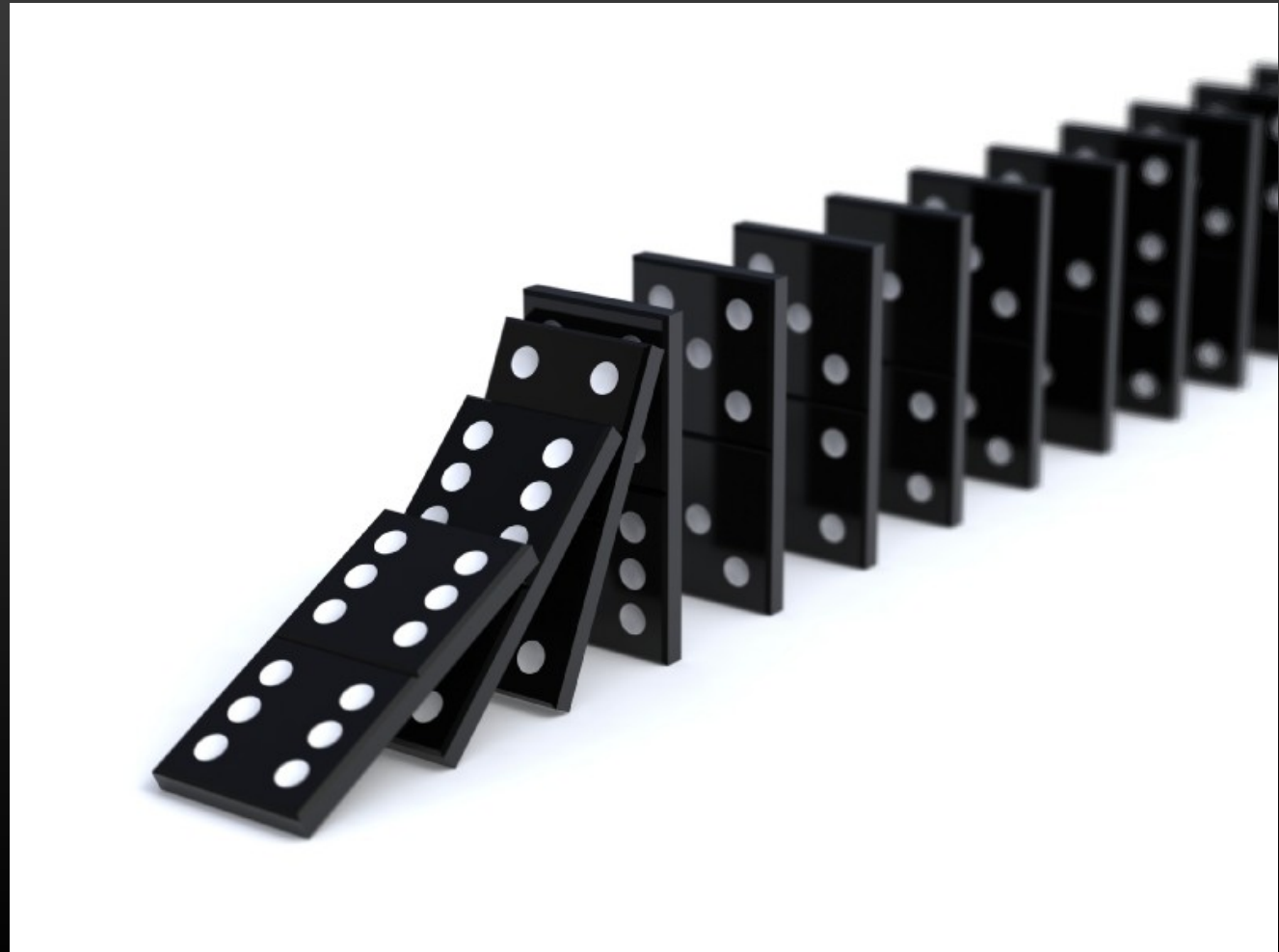
Výpočet kolizí: spojitý

- Continuous Collision Detection (CCD)
 - Náročnější – vyhrazeno jen pro některé objekty
 - Metody:
 - Supersampling
 - Raycasting (projektily)
 - Swept spheres
 - Implementováno ve PhysX (Unity, UDK), Bullet



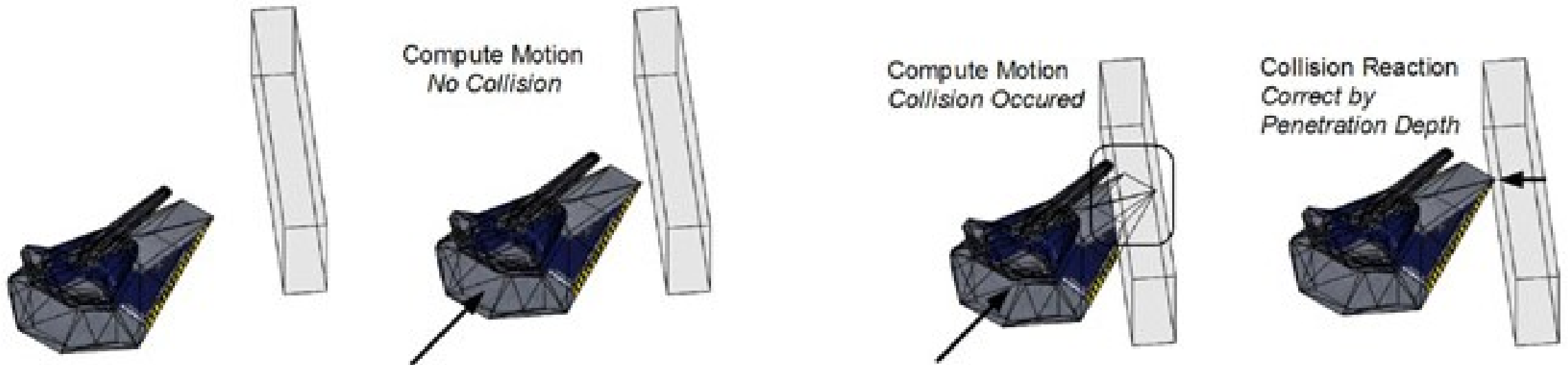
Výpočty kolizí: extra

- Terén
 - Obvykle 2D terén
 - Postačí „2D“ detekce
- Optimalizace – uspávaní objektů
 - „Uspi“ objekt, jestliže se nehýbe
 - Probud' objekt při kolizi



Reakce na kolize

- Co se děje po detekci kolize:
 1. Úprava pozic objektů (řeší engine)
 2. Výpočet nových sil (řeší engine)
 - Odraz, přenesení energie
 3. programová reakce na kolizi:
 - skóre, exploze, ...
 - engine poskytuje údaje o kolizi (body doteku, rychlost, ...)



Kolize typu „spoušt“ – „trigger“

- Prostupná kolizní obálka
 - Hlavním účelem je vyvolat reakci na „kolizi“
 - Použití: detekce hráče, objektu:
 - Nášlapné tlačítko, mina, teleport
 - Detektor pohybu, bezpečnostní kamera
 - Fotbalová branka, basketbalový koš
 - Zóna dohledu / doslechu nepřátel
 - Okraj mapy – ničení zbloudilých projektilů
 - ...

Osnova

- Úvod
- Pevná tělesa
 - Kolize
 - **Mechanika**
 - Fyzikální vlastnosti objektů
 - Síly
 - Klouby
- Deformovatelná tělesa
 - Ragdoll
 - Látky
 - Deformace
- Částicové systémy

Mechanika

- Opakování: Mechanika – přemísťování objektů v prostoru a čase
 - Dynamika – příčina pohybu objektů
 - Kinematika – pohyb těles bez ohledu na příčinu
 - Základní pojmy – měli bychom znát:
 - Síla, práce, hybnost, setrvačnost, skládání sil
 - Newtonovy pohybové zákony
 - Klidové a smykové tření, odpor prostředí
- Mechanika ve hrách (≠ herní mechaniky):
 - Fyzikální vlastnosti objektu
 - Dynamika – působení sil
 - Tření, odpor prostředí
 - Kinematika – není závislé na fyzikálním engine:
 - Dopředná
 - Inverzní
 - procedurální

Fyzikální vlastnosti objektů

Velikost a hmotnost objektu – závislé veličiny, obě hrají roli:

- Lze upravit hustotu objektu
- Mrakodrap se hroutí pomaleji než domeček pro panenky
- Problémy s měřítkem objektů
 - Zhruba od kulečnickových koulí po kamion

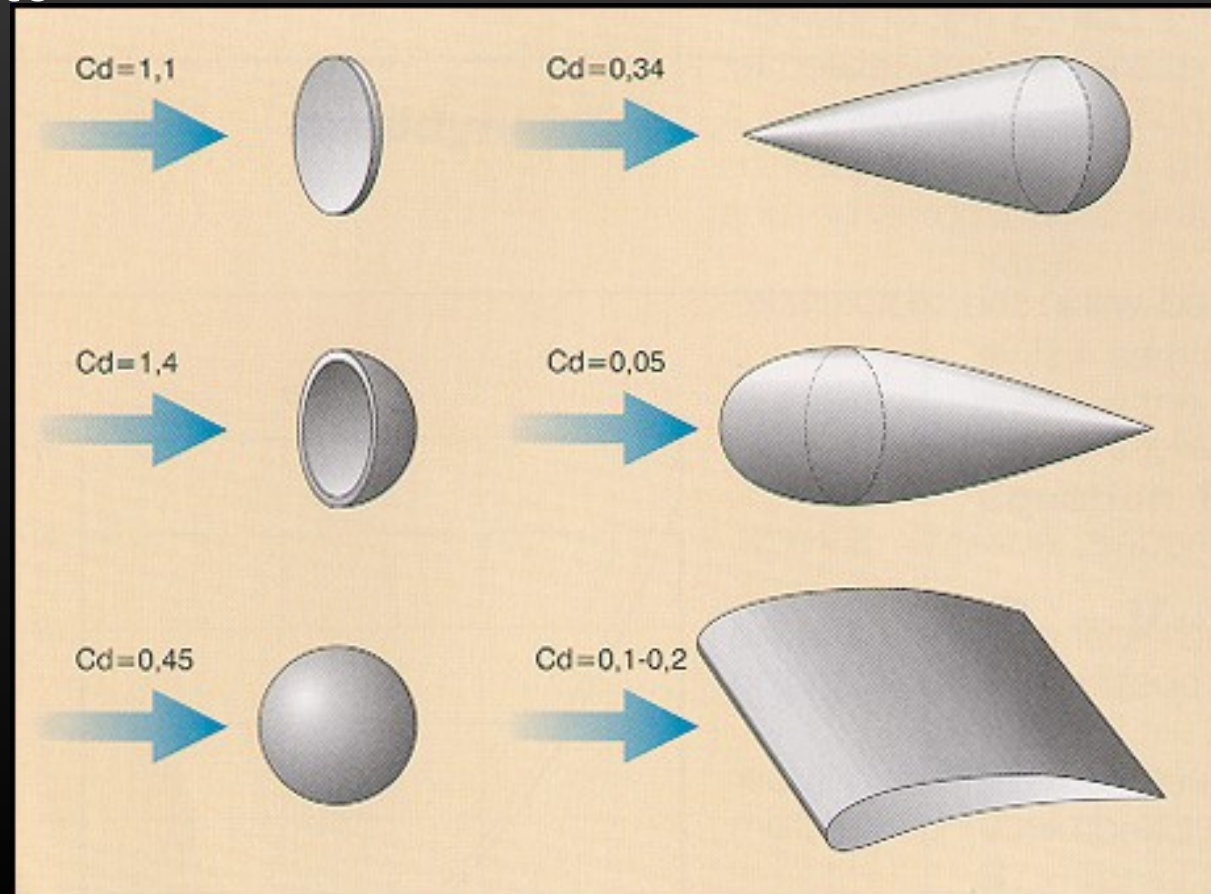
„Large masses make physics simulation unstable.“

Unity Manual

Fyzikální vlastnosti objektů

Odpor prostředí (Drag):

- = Tření o kapalný či plynný objekt
- Ve hrách – ovlivňuje rychlost letu objektů
- Nebere v potaz geometrii objektu
 - OK pro simulaci pádu s padákem / bez
 - KO pro simulaci rogalu



Fyzikální vlastnosti objektů

Koeficienty tření:

- Statické, dynamické tření
 - Simulace různých materiálů (guma, led, ...)
 - Využití – závodní hry
- Odrazivost:
 - Využití – platformer, casual games

Fyzikální síly

- S objektem lze pohybovat
 - Přímou, kódem... `position = x, y, z;`
 - Fyzikou
 - působením sil... `addForce(10, forward);`
 - Zákon akce a reakce
 - Kinematikou
 - Dopředná, inverzní, procedurální, ...
- Obecně není dobré kombinovat přístupy

Fyzikální síly

A) Síla (force)

- Gravitace

B) Kroutivá síla (torque)

- Parametry

- Intenzita
- Místo působení
- Typ působení
 - Konstantní (fixed update)
 - Impulse
 - Ignorování hmotnosti tělesa

Klouby

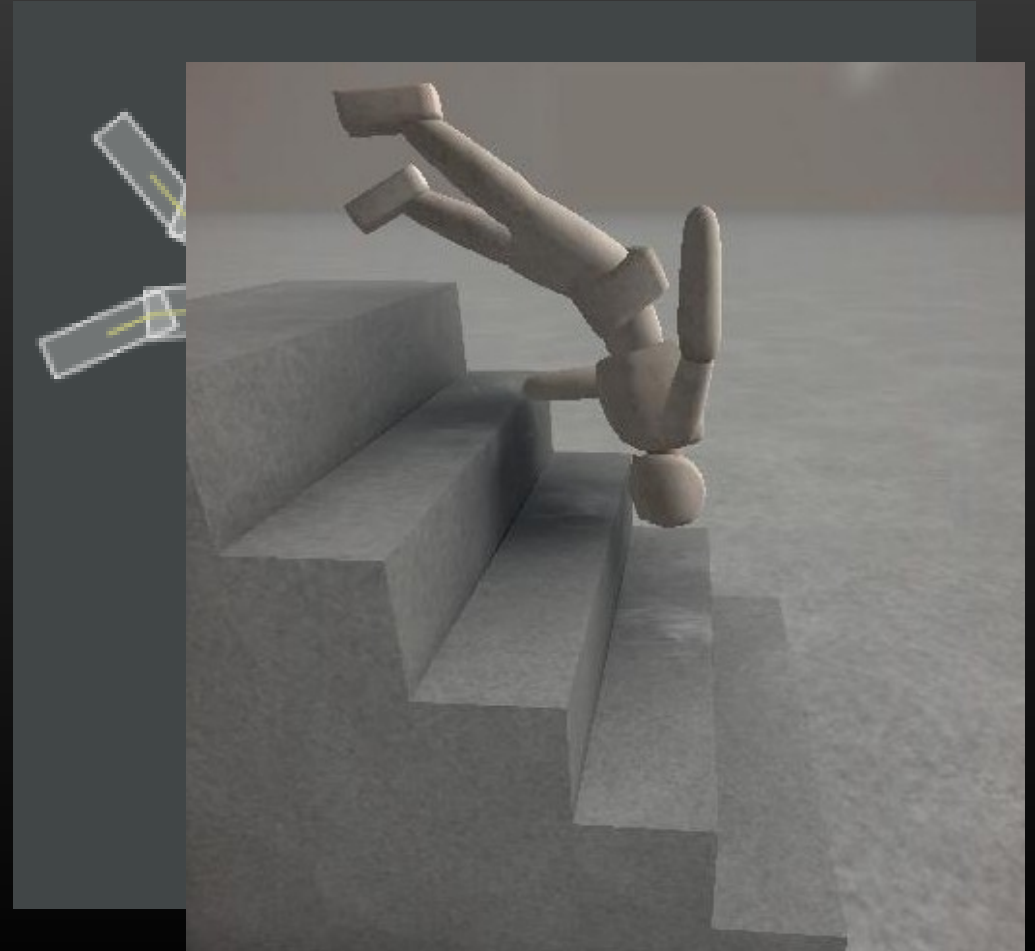
- Spojení dvou objektů s určitou mírou volnosti
 - Pevný (Fixed joint)
 - Lze odtrhnout určitou silou
 - Pant (hinge)
 - dveře, ...
 - Pružina (spring)
 - Trampolína, řetězy, ...
- Běžně implementováno ve fyzikálních engine

Osnova

- Úvod
- Pevná tělesa
 - Kolize
 - Mechanika
- **Deformovatelná tělesa**
 - Ragdoll
 - Látky
 - Deformace
- Částicové systémy

Hadrová panenka – Ragdoll

- Specifický způsob pohybu nevládných postav
 - Spojení animace a fyziky
 - „procedurální animace“
- Základem je:
 - Kosterní systém postavy (rig)
 - Omezení jednotlivých kloubů
 - Geometrie postavy rozložena na skupinu rigid-bodies
- Techniky
 - Pružiny + tlumiče, Featherstone's algorithm
 - „blended ragdoll“
 - Připravená animace, kontrola fyzikálních možností
- Hry
 - Tam, kde se umírá
 - [Truck / Stairs / Turbo] Dismount



Ragdoll a další...

- Další krok: syntéza pohybu v reálném čase (Dynamic motion synthesis)
 - Řízení pohybu vědomých postav
 - Pohyb je generován v reálném čase na základě:
 - Fyziky
 - Biomechaniky
 - Umělé inteligence
- Využití: hlavně v robotice

„it is comparatively easy to make computers exhibit adult level performance on intelligence tests or playing checkers, and difficult or impossible to give them the skills of a one-year-old when it comes to perception and mobility.“

Hans Moravec

Ragdoll a další...

- Praxe: Euphoria engine
 - GTA IV, GTA V („intelligent ragdoll“)
 - Max Payne III
 - Star Wars: The Force Unleashed I a II
- Videa:
 - <https://www.youtube.com/watch?v=Qi5adyccoKI>
 - <https://www.youtube.com/watch?v=eMaDawGJnRE>

Osnova

- Úvod
- Pevná tělesa
 - Kolize
 - Mechanika
- Deformovatelná tělesa
 - Ragdoll
 - Simulace látek
 - Deformace
- Částicové systémy

Simulace látek

A) pouze na postavách (např. plášť):

- Výpočetně jednodušší – koliduje pouze s charakterem (plus self-collision)

B) obecně:

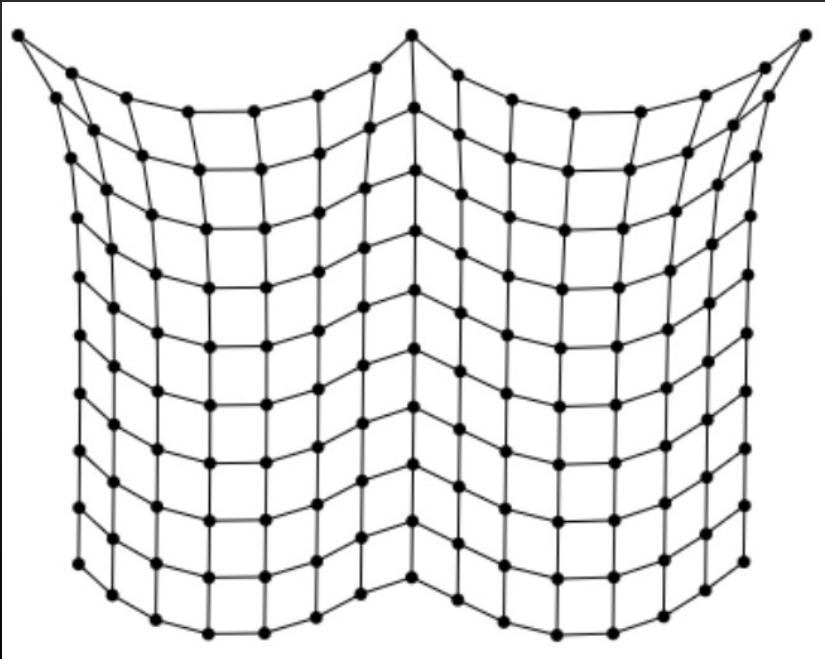
- Koliduje se „vším“
- Většinou ovlivňuje pouze estetiku

• Dva modely

- Grafický
 - polygonální plát (daná tloušťka)
- Fyzikální
 - Nulová tloušťka
 - **Hmotné body**
 - **Hrany – omezení vzdálenosti bodů**
 - Čím více bodů a hran...

Simulace látek

- Implementováno např. v rámci NVIDIA PhysX
 - lze využít CPU i GPU
- Ukázka:
 - <http://andrew-hoyer.com/experiments/cloth/>



Simulace látek



Video – Cinema4D



Video – Unity

Osnova

- Úvod
- Pevná tělesa
 - Kolize
 - Mechanika
- **Deformovatelná tělesa**
 - Ragdoll
 - Simulace látek
 - Deformace
- Částicové systémy

Deformace „měkkých“ těles

- Techniky
 - Mass-spring model
 - Finite element model
 - Rigid-body based deformation
- Podporuje
 - ~~Unity 4~~
 - Havok
 - Bullet
 - PhysX

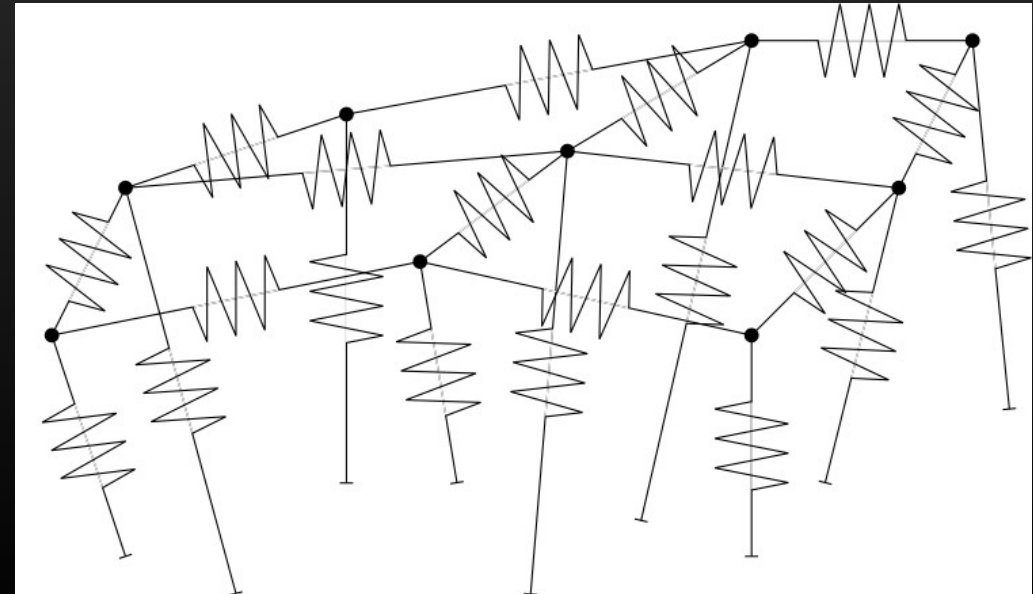
Měkká tělesa – mass-spring model

- Lano = 1D Mass-spring model
- Látka = 2D Mass-spring model
- Soft-body = 3D Mass-spring model

- Fyzikální model:
 - Sada „uzlů“ spojených pružinami
 - Lze odvodit z polygonální sítě
 - Vychází z Hookova zákona:
 - „Deformace je přímo úměrná napětí materiálu.“

- Rendering:
 - Použití volných deformací (FFD)

- Článek:
 - http://www.thinkmind.org/download.php?articleid=content_2011_2_20_60061



Měkká tělesa – Metoda konečných prvků (FEM)

- Fyzikální model
 - Pružné těleso simulováno sadou malých prvků (čtyřstěny, krychle)
 - Fyzikální model elastického materiálů (reakce na tlak, tah)
 - Optimalizace: graded mesh
- Rendering
 - Použití volných deformací (FFD)
- Praxe
 - „Digital Molecular Matter“: *Star Wars: The Force Unleashed*
- Článek:
 - <http://www.cs.berkeley.edu/~jfc/yzhuang/papers/v99.pdf>
- Video:
 - <https://www.youtube.com/watch?v=fdlyAobZWG4>



Měkká tělesa – Rigid-body based

- Fyzikální model
 - Sada rigid bodies + omezení
- Rendering
 - Matrix Palette Skinning
- Praxe
 - Havok Destruction: *Uncharted*
- Video:
 - <https://www.youtube.com/watch?v=clcg5eotZlY&list=PLAE79AF5CEBBC886C#t=17>



Osnova

- Úvod
- Pevná tělesa
 - Kolize
 - Mechanika
- Deformovatelná tělesa
 - Ragdoll
 - Simulace látek
 - Deformace
- Částicové systémy

Částicový systém

- Pro simulování amorfních jevů:
 - Voda, kouř, exploze, ...
 - Integrováno do herních prostředí (Unity: „Shuriken“)
- Emitor:
 - Generuje částice
 - Definiuje jejich vlastnosti, „fuzzy“ hodnoty
 - Životnost
 - Rychlost
 - Velikost
- Částice:
 - Co nejjednodušší – sprite (billboard) nebo jednoduchý mesh
 - Po emitování má vlastní „logiku“

Částicový systém

- Simulační fáze
 - Vytvoření nových částic, odstranění příliš „starých“
 - Aktualizace pohybu částic
 - Rychlost, externí síly (gravitace, vítr, odpor prostředí)
 - Kolize s okolím (částice mezi sebou obvykle nekolidují)
- Vykreslovací fáze
 - Billboard, případně mesh, případně meta-ball
 - Textury, osvětlení (alpha blending)
- Implementovatelné na GPU (NVIDIA PhysX)
 - Video: https://www.youtube.com/embed/H6_eLsmIZ58



Částicový systém

- Rychlost značně ovlivňuje:
 - Počet a velikost částic
 - Více malých nebo méně velkých?
 - Složitost chování částic
 - Gravitace, kolize
- Vykreslování částic
 - Třízení
 - Shadery (průhlednost)
 - Světla (stíny, per-vertex / per pixel)

Herní mechaniky a fyzika

- Kolize
 - omezení pohybu – hráče, aut, projektilů, ...
- + Triggery:
 - Detekce hráče – spuštění alarmu, pasti, miny, otevření dveří, konec levelu, ...
 - silová pole – změna fyzikálních vlastností (hmotnost, rychlost, ...)
- + gravitace
 - Physics-based puzzle (skládání objektů)
 - Balance based (Kinect)
 - Balistika (dělo, sporty s míčem)
- + změna směru, intensity gravitace
 - Super jump, padák
 - Physics-based puzzle, exploration (The bridge, VVVVVV, And Yet it Moves, ...)

Herní mechaniky a fyzika...

- + síly

- Odrážení objektů: Kulečník, Arkanoid, lasery (obvykle není řešeno přes fyziku)
- Micro machines, vznášedla, vesmírné lodi
- Rocket jump, Star-wars „Force“

- + klouby

- Pant: Dveře, propadla, houpačky, kyvadla, jeřáby
- Pružiny: Řetězy, lana, trampolíny, grappling hook
- Sandbox: Garry's Mod, Crayon Physics

- + vrstvy

- Částečně průchozí místa – Portal, Rochard

- + měkká tělesa

- Především estetika:
 - bezvládná těla
 - deformace objektů