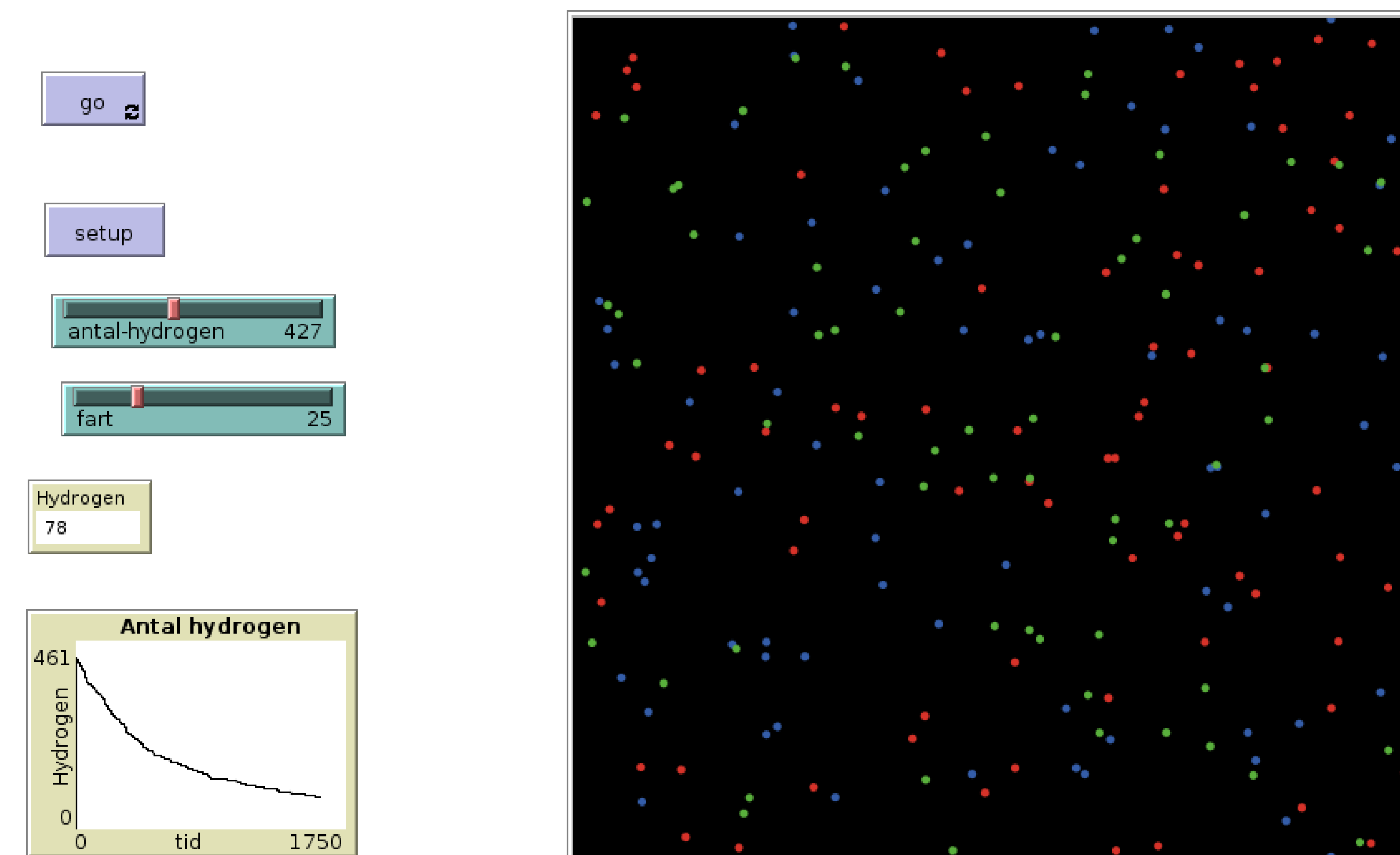


# Fusionsprocesser i stjerner

## Introduktion

Modellen skal bruges til at forklare fusion af hydrogen til helium i stjerner via pp-processen samt senere fusion af helium til carbon via triple-alfa processen.

Modellen virker ved at lade kerner bevæge sig tilfældigt rundt mellem hinanden og give dem mulighed for at fusionere, hvis de er tæt på hinanden og ellers opfylder krav til fusion.



## Mål med aktiviteten

At eleverne

- bliver fortrolige med de centrale (kerne)processer i en stjerne.
- får en mere intuitiv forståelse af, hvad der har betydning for fusion i en stjerne.
- opdager hvordan simple modeller af de enkelte (kerne)processer, kan bruges til at beskrive en mere kompleks (fusions)proces.
- træner arbejdet med modeller ud fra princippet (use/modify/create)
- kan lave en computationel model over en fysik proces.

## Beskrivelse af aktiviteten

Eleverne skal

- udforske modellen ved at køre den i interfacet og observere hvad der sker (se fusionen ske)
- gå ind i koden og identificere de enkelte elementer i den og derefter koble dem til hvad der sker i interface-vinduet.
- foretage ændringer i koden og interface-layout – herunder visning af antallet af andre partikler.

Efter en præsentation af pp-processen og triple-alfa-processen skal eleverne

- Lave tilføjelser i koden, således at alle trin i pp-processen er med i modellen.
- lave et program, som kan modellere triple-alfa-processen.
- foretage ændringer i koden, som kan vise at henfaldstiden for Be-8 har betydning for processen.

## Udsnit af kode

```
to move ;; Denne procedure flytter en turtle (en kerne)
  right ((random 50) - 25)
  forward ((fart / (100 * sqrt(masse)) ) * (random-float 0.1))
end

to HH->D ;; Procedure for fusion af 2 H-kerner til en D-kerne
  set t ((fart / 100) * (random-float 1))
  if (count other hydrogen-here = 1)
  [
    hatch-deuterium 1 [set color blue set masse (partikkelmasse)]
    ask hydrogen-here [die]
  ]
end
```

Ovenfor er et udsnit af en central del af koden, nemlig bevægelse af kerner samt et eksempel på en fusionsproces (bemærk, at der ikke tages højde for udsendelse af positroner/ladningsbevarelse).

## Ideer til videre udvikling

- Den anvendte model for fusion er meget simpel. Man kunne udvikle en model, hvor farten/energien af partiklerne følger en hastighedsfordeling og ikke er fast for alle kerner.

- I modellen kunne man tage mere hensyn til massen af kernerne og lade den koble til størrelse af kernerne
- Man kunne også vælge helt af se bort fra fart af kernerne og bygge en endnu mere simpel model.

## Didaktiske overvejelser

- Der startes med en forsimplet model for fusion. Det gør modellen og koden tilpas enkel, så eleverne relativt nemt kan "få hul" på den.
- Der lægges op til at eleverne selv kan tilføje elementer i interfacet og tilpasse modellen, så de nemmere kan gøre den deres egen.
- ved at give de enkelte kerner en masse, giver man eleverne mulighed for senere at bruge denne i deres udvikling af modellen.
- At eleverne selv skal udbygge og tilpasse modellen, vil gøre det nemmere at håndtere, når eleverne arbejder forskellige tempi.

## Erfaring med modellen

- Der kan være stor forskel på hvor hurtigt eleverne arbejder med modellen.
- En arbejdsform med relativ lav lærerstyring giver tid mest tid hjælpe elever, da der kan være stor forskel på de problemstillinger eleverne løber ind i.
- Eleverne har tendens til at samle både pp-processen og triple-alfa-processen i samme program. Ved at holde dem i separate programmer holdes der bedre fokus på forskellen mellem dem.

## Kreditering

NetLogo-modellen og undervisningsmaterialet er udviklet af [Svend Runge Nielsen](#), Roskilde Katedralskole, i forbindelse med deltagelse i udviklingsprojektet Computational Thinking i Matematik og Naturfag i skoleåret '18/'19. Projektet køres i samarbejde mellem Danske Science Gymnasier og Center for Computational Thinking & Design, Aarhus Universitet.