

# GANIL,

laboratoř pro zkoumání srdce hmoty

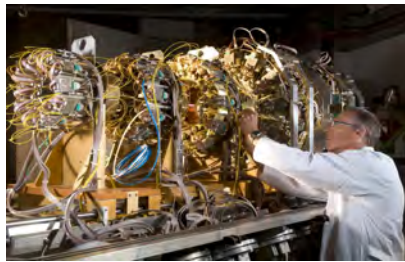
GANIL je jednou z vedoucích světových laboratoř, které se zabývají výzkumem používajícím iontové svazky. Urychlovače, spojené s výkonnými detekčními instrumenty umožňují vědcům z celého světa provádět unikátní experimenty.



Kryogenické komory ukrývají rezonanční kavitu supravodivého urychlovače SPIRAL2.

## Věděli jste to?

- Atomové jádro obsahuje 99.5% hmotnosti atomu.
- Jádro, schované ve středu atomu je 100 000krát menší, než celý atom. Atomové jádro je jako moucha v katedrále. A mezi mouchou a zdmi katedrály je prázdno!
- Urychlené ionty GANILovských svazků se mohou pohybovat rychlostí až 120 tisíc km za sekundu, to je jako tři cesty kolem světa za pouhou sekundu!



Detektor INDRA



Trasa iontových svazků

Experimenty v GANILu poskytují - na úrovni jaderné fyziky - lepší porozumění hmotě, která nás obklopuje a ze které jsme.

### Jak vznikla hmota ve vesmíru?

Po velkém třesku se vesmír skládal pouze ze dvou chemických prvků: vodíku a hélia. To hvězdy jsou původcem veškerých chemických prvků, které utvářejí dnešní vesmír. Tyto obřímí kosmické hrnce neustále vytvářejí nové atomy, které vyvrhují do vesmíru v dramatických událostech jako jsou výbuchy supernov.

Astrofyzici v GANILu reprodukují a pozorují reakce, které probíhají ve hvězdách, aby lépe porozuměli procesům vzniku chemických prvků a životu hvězd.

### Jak protony a neutrony ovlivňují vzájemnou interakci jader?

Za účelem studia jádra atomu, přidávají fyzici protony či neutrony, nebo urychlují jiná jádra nutí je ke srážkám. Získané výsledky jsou úžasné: pozorují jádra tvarů citrónu či hrušky nebo dokonce několika tvarů, které koexistují v jednom a tom samém jádře.

Tyto experimenty prověřují teoretické modely, které jsou základem našeho porozumění hmotě. Také nám dovolují studovat síly, které zajišťují soudržnost jádra nebo zapříčiňují jeho přeměny.

### Jakými pravidly se řídí magická jádra?

Ukazuje se, že jádra jsou obzvláště stabilní, pokud mají 2, 8, 20, 28, 50, 82 nebo 126 protonů a/nebo neutronů. Tato čísla jsou nazývána magická. Nicméně se zdá, že tak zvaná exotická jádra, taková, co se přirozeně nevyskytují na Zemi, tento zákon neposlouchají.

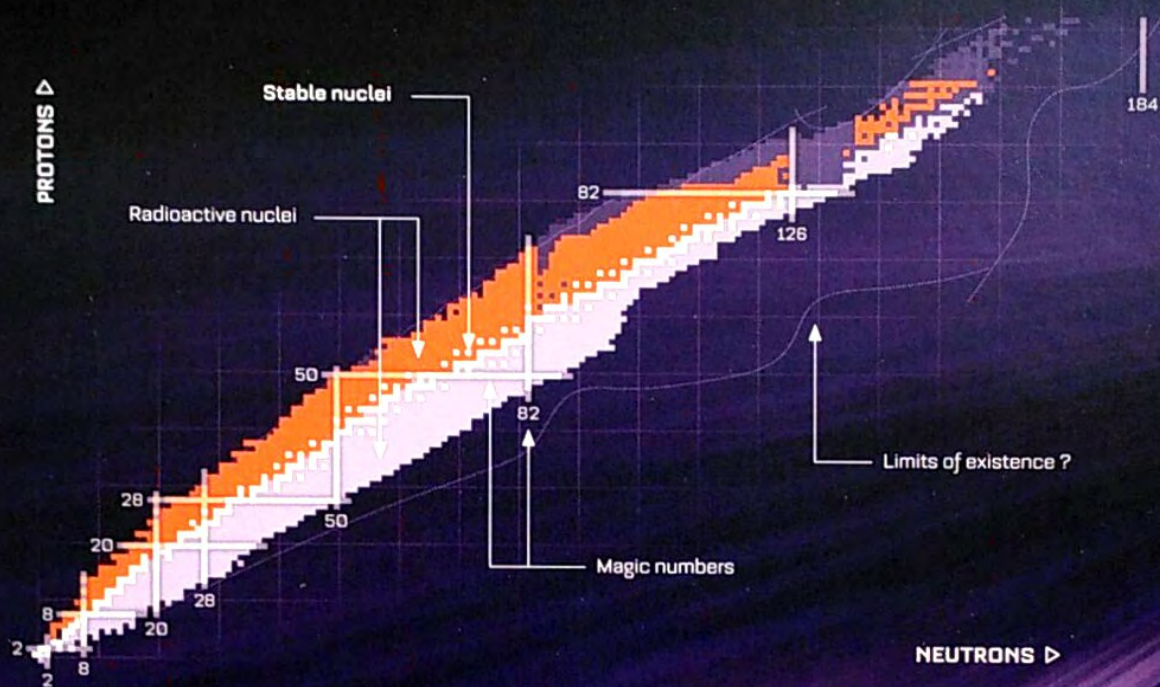
V GANILu fyzikové zkoumají magicitu těch nejexotičtějších jader.

### Kde jsou limity existence hmoty?

V současnosti má nejtěžší známý prvek pozorovaný v laboratoři - tj. takový, který má dohromady nejvíce protonů a neutronů v jádře - 118 protonů. Teoretické modely předpovídají existenci ještě těžších prvků, tvořených více než 120 protony. Tyto takzvané supertěžké prvky mohou být vytvořeny spojením dvou jader. Díky bezkonkurenční intenzitě iontových svazků SPIRAL2 a novým efektivnějším experimentálním zařízením bude GANIL na špičce tohoto závodu o supertěžké prvky.

# Mapa jader

V přírodě existuje okolo 300 různých stabilních atomových jader. Více než 2800 jich dodnes bylo v laboratořích vytvořeno uměle a dalších více než 5000 ještě čeká na své objevení.





# GANIL,

tým expertů a zařízení na hraně technologie a poznání



Výzkum aplikovaných materiálů - laboratoř CIMAP



Magnetické elementy ovládající iontové svazky

## Svazky iontů slouží interdisciplinárnímu výzkumu

**Kvalita iontových svazků z nich činí úžasné nástroje** pro různé oblasti základního a aplikovaného výzkumu: atomovou fyziku, fyziku materiálů či dokonce radiobiologii. Přibližně 30% provozního času urychlovačů je věnováno multidisciplinárnímu výzkumu.

Kampus Julese Horowitz, kde je GANIL situován, je domovem pro CIMAP (výzkumné centrum pro ionty, materiály a fotoniku) a LARIA.

GANIL rovněž spolupracuje na přípravě svazků pro hadronovou terapii v rámci projektu ARCHADE, kteréžto centrum se nachází v těsné blízkosti GANILu.

## Návratnost zařízení a výzkumu v GANILu

**Iontové svazky jsou používány v průmyslových aplikacích:** ve výrobě mikroporózních membrán, v ozařování elektronických komponent pro satelity (výzkum, vývoj, testy) a dalších.

Laboratoř spoléhá na vědeckou a technickou expertízu svých zaměstnanců a využívá jejich know-how ve spolupráci s průmyslem, např. ve formě licencování patentů, převodu know-how a ve formě smluv o vědecké spolupráci.

## Týmy pro výzkum

**Zajištění provozu GANILu závisí na schopnostech a odbornosti techniků a inženýrů.**

Někteří pracovníci udržují a připravují experimentální zařízení a poskytují podporu při experimentech tak, aby celé zařízení fungovalo ve shodě s náročnými bezpečnostními požadavky.

Experimenty navrhované výzkumnými týmy využívají stále efektivnější a inovativnější technologie; vývoj některých z nich je prováděn přímo v GANILu ve spolupráci s inženýry a vědci z dalších laboratoř.

Experimentální a teoretičtí fyzici v laboratoři pracují v těsné spolupráci, aby ověřili teoretické předpovědi s výsledky experimentů. Zázemí jim poskytují administrativní pracovníci, kteří zajišťují běžný chod laboratoře a starají se o návštěvníky a uživatele. V laboratoři GANIL pracuje trvale v různých odděleních celkem téměř 300 lidí.

## Věděli jste to?

- Atom je elektricky neutrální; má stejný počet elektronů (záporně nabitých) a (kladně nabitých) protonů. Aby bylo možno jádra urychlit, musí se přeměnit na elektricky nabitě ionty tak, že se jim odeberou některé elektrony.
- Komponenty jádra (protony a neutrony) nejsou nehybné. Jsou v neustálém pohybu o rychlosti 30 000 km za sekundu.
- Od svého spuštění v roce 1983 byl GANIL svědkem objevu více než 100 různých jader, předtím nepozorovaných.
- Hustota jádra je tak vysoká, že jádro velikosti náprstku by vážilo 200 miliónů tun.



Spektrometr AGATA spojený se spektrometrem VAMOS

# Cesta do středu zařízení

Pro studium atomového jádra je třeba přinutit jej, aby interagovalo s ostatními jádry. GANIL má různá zařízení, která vytvářejí iontové svazky, urychlují je a nasměrují je na terčík z potřebného materiálu.

## SUPRAVODIVÝ LINEÁRNÍ URYCHLOVAČ

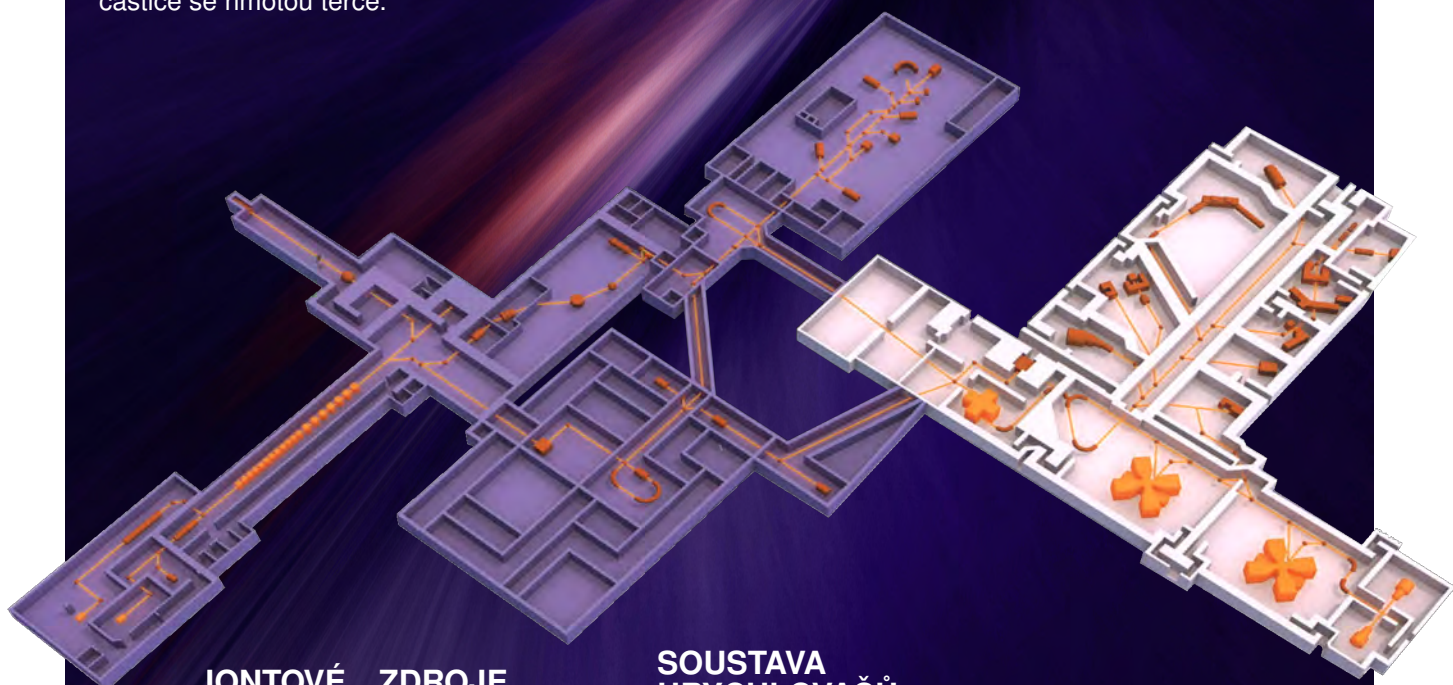
generuje velmi intenzivní svazky částic; to zvyšuje pravděpodobnost interakce urychlené částice se hmotou terče.

## EXPERIMENTÁLNÍ PROSTORY SPIRAL2

otevírají prostor pro nové objevy. Haly pro NFS (Neutrons For Science) a S<sup>3</sup> (Super Separator Spectrometer) budou prvními v provozu.

## EXPERIMENTÁLNÍ PROSTORY

jsou přibýtkem velmi sofistikovaných detekčních a měřících systémů pro pozorování reakcí vznikajících v kolizích mezi iontovým svazkem a terčem.



## IONTOVÉ ZDROJE SPIRAL2

mohou produkovat široké spektrum částic, včetně velmi lehkých jako jsou protony a deuterony.

## SOUSTAVA URYCHLOVAČŮ

sestavající z pěti urychlovačů, sestava urychluje iontové svazky od uhlíku-12 po uran-238 na různé energie v závislosti na typu experimentu.

Ionty uhlíku-12 například dosahují rychlosti až 120 tisíc km/s, což je více než třetina rychlosti světla.

## ZDROJE

produkují stabilní nebo radioaktivní ionty, které jsou pak formovány do svazků a urychlovány.

## BEZPEČNOST JADERNÝCH ZAŘÍZENÍ

Tým specialistů a bezpečnostních pracovníků se na místě stará o preventivní opatření a dohlíží na ochranu pracovního i životního prostředí.

Zajišťuje bezpečnost práce zaměstnanců a splnění podmínek pro provoz celé instalace, přičemž GANIL je veden jako "základní typ jaderného zařízení".



# GANIL,

klíčové zařízení, sloužící evropskému a mezinárodnímu výzkumu

GANIL je speciálním případem akciové společnosti (GIE), kde jsou jedinými vlastníky Centre national de la recherche scientifique (CNRS - národní centrum pro vědu a výzkum) a Comisariat de l'énergie atomique (CEA - Komisarát pro atomovou energii), které laboratoř řídí.

SPIRAL2 zařízení bylo vybráno v roce 2006 v ESFRI - evropské strategické forum pro výzkumné infrastruktury - jako projekt vědecké excelence.



Lineární urychlovač ve SPIRAL2

## Lokální kořeny GANILu

Místní samospráva francouzského regionu Normandie a GANIL podporují vědecký výzkum již mnoho let s výhledem na zvýšení přitažlivosti a konkurenceschopnosti regionu. Normandský departement Calvados a město Caen podporují mnoho projektů GANILu, včetně projektu SPIRAL2, který má také finanční podporu jejich veřejných institucí. Přítomnost GANILu v Normandii zásadně proměnila vědecký vývoj v regionu. Sever města Caen to ilustruje budováním prvotřídních vědeckých zařízení okolo GANILu, jejichž součástí jsou školní i vědecká zařízení.

## Mezinárodní vědecká komunita

Každý rok GANIL přijímá několik set vědců a inženýrů, kteří spolupracují na vědeckých experimentech a projektech. Celkem okolo 700 výzkumníků ze 65 laboratoří a 30 různých zemí přichází do GANILu každým rokem provádět experimenty či navštěvovat kongresy. Evropské a mezinárodní smlouvy s mnoha zeměmi podporují výměny vědců mezi laboratořemi. Vědecké projekty v GANILu probíhají na základě smluv s mezinárodními partnery či s pomocí evropského financování.



# GANIL/SPIRAL2

Le Grand Accélérateur National d'Ion Lourds  
Système De Production D'ions Radioactifs en Ligne

PRONIKÁNÍ  
DO MYSTÉRIA  
HMOTY



# SPIRAL2 v GANILU

Nové vyhlídky pro výzkum



Zařízení SPIRAL2 přináší GANILU nové možnosti díky velmi intenzivním iontovým a neutronovým svazkům. Výzkum bude mimo jiné zaměřen na vlastnosti atomového jádra.

## Lineární urychlovač

LINAC SPIRAL2 (LInera ACcelerator) může urychlovat lehčí jádra (protony, deuterony, helium) než cyklotrony v GANILU, takže rozšíří současné experimentální možnosti. Může však také urychlovat těžké ionty až po nikl, a to s intenzitami desetkrát většími, než jsou v současnosti dosažitelné. Takové možnosti otevřou prostor například pro objevy nových jader.

## Experimentální haly

Neutrons For Science (NFS): protony a deuterony (jádra z jednoho protonu a jednoho neutronu), jež budou urychlena LINACem SPIRAL2 budou generovat extrémně intenzivní a unikátní neutronové toky. Svazky neutronů jsou používány pro experimenty v jaderné fyzice a aplikovaném výzkumu (např. radiobiologie či elektronika).

## Super-Separátor-Spektrometr ( $S^3$ ):

v jaderné fyzice slouží mimo jiné také ke studiu supertěžkých prvků, známých také jako transurany, neboť jsou těžší než uran - nejtěžší stabilní chemický prvek, nalezený na Zemi. Úkolem  $S^3$  bude produkovat a studovat vlastnosti nových neznámých prvků a doplnit periodickou tabulku prvků. Zařízení nese hodnocení EQUIPEX (Equipment of Excellence.)

## Technologický pokrok

SPIRAL2 zahrnuje mnoho vývoje a sofistikovaných technologií. Pro LINAC byly vyvinuty nové supravodivé rezonanční kavity, dosahující bezkonkurenčních výkonů.

Vývoj nových detektorů pro SPIRAL2 posouvá technologické inovace vpřed a vytváří potenciál pro vznik spin-off společnosti sloužících k transferu technologií do průmyslu a medicíny.

# Plány pro blízkou budoucnost

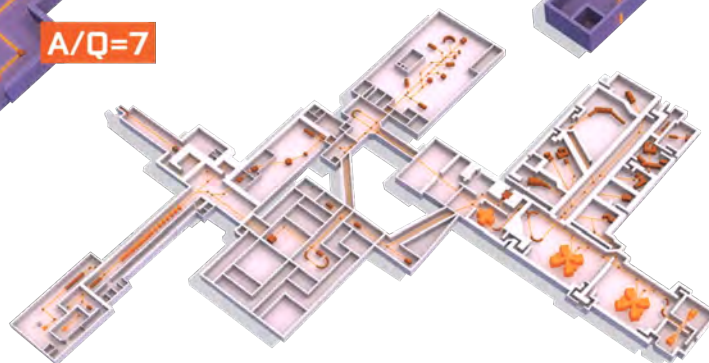
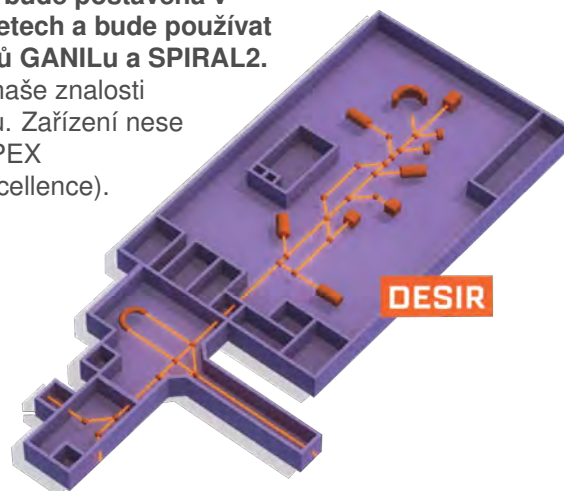
## Nový iontový zdroj pro SPIRAL2 LINAC ve stádiu návrhu

Zdroj ještě zvýší intenzitu svazů SPIRAL2 a umocní konkurenceschopnost v celosvětovém měřítku.



## Experimentální hala DESIR

(Desintegration, Excitation and Storage of Radioactive Ions) **bude postavena v nadcházejících letech a bude používat iontových svazků GANILu a SPIRAL2.** Výzkum obohatí naše znalosti o atomovém jádru. Zařízení nese hodnocení EQUIPEX (Equipment of Excellence).



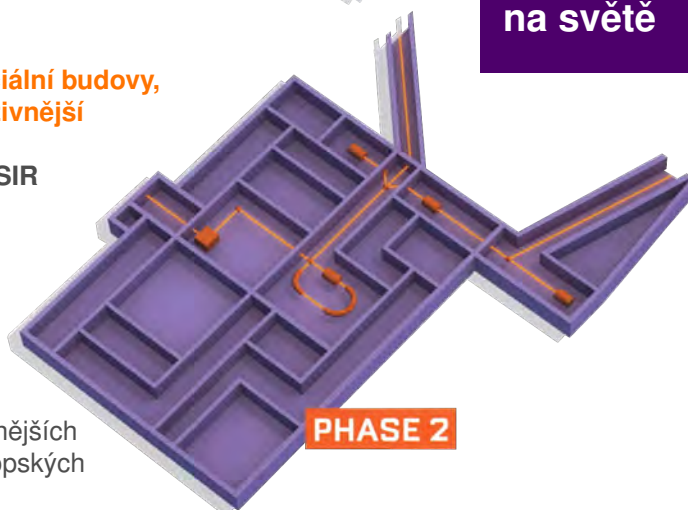
**Produkcce nejsilnějších svazků exotických iontů na světě**

## Konečným cílem je fáze 2, postavení speciální budovy, jejíž vybavení dovolí produkovat nejintenzivnější svazky exotických iontů na světě.

Tyto svazky budou přenášeny do haly DESIR pro nízko-energetické experimenty nebo post-urychleny stávajícím cyklotronem CIME na střední energie a přivedeny do experimentálních hal. Výzkumníci tak využijí celou současnou infrastrukturu včetně detekčních systémů a experimentálního zázemí.

Současně je ve vývoji nová generace efektivnějších detektorů, na kterých se pracuje v rámci evropských programů spolupráce.

Kombinace těchto produkčních technik a experimentálního vybavení umožní široké komunitě výzkumníků studovat vlastnosti jader, které se diametrálně liší od těch, s nimiž se setkáváme v našem okolí.



## Projekt spojující lokální a mezinárodní partnery

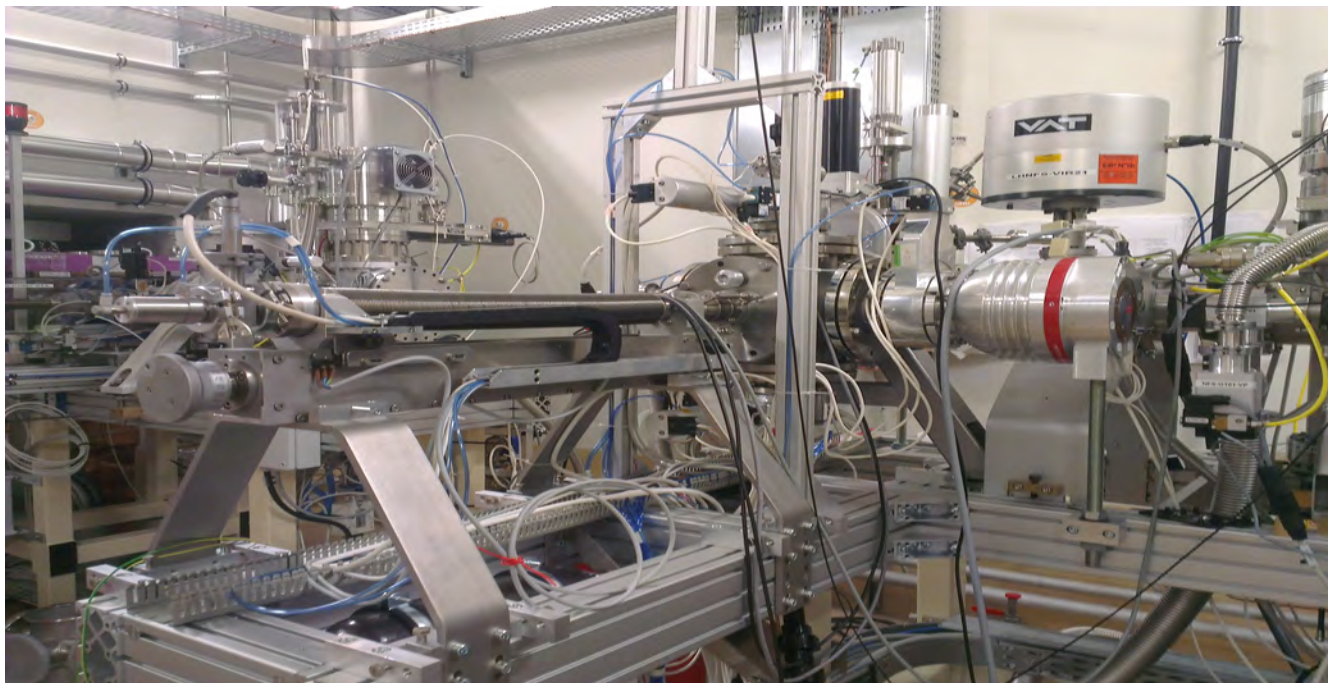
Projekt SPIRAL2 se uskutečňuje díky přispění Evropské unie, Francie, CNRS, CEA, radě Normandie, departementu Calvados, městu Caen

Na projektu spolupracuje celkem 23 zemí: Německo, Belgie, Bulharsko, Španělsko, Finsko, Řecko, Maďarsko, Itálie, Polsko, Česká republika, Rumunsko, Velká Británie, Rusko, Švédsko, Švýcarsko, Čína, Jižní Korea, Indie, Izrael, Japonsko, Turecko, Kanada a USA. Od roku 2002 bylo podepsáno okolo dvaceti bilaterálních smluv.



# ČESKO V GANILU

Spolupráce v průběhu dekád



Ozařovací komora (IC - Irradiation Chamber), která dovoluje měřit aktivaci krátkožijících izotopů je instalována na NFS.

Česká republika vysílá svoje pracovníky do GANILu již od 90. let minulého století. Program SPIRAL2-CZ financovaný Ministertvem školství a jedním z Evropským operačním programem pro výzkum, vývoj a inovace, přináší rozšíření spolupráce a možnost synergie českých zařízení a GANILu.

## Exotická jádra a jaderná astrofyzika

Spolupráce mezi Ústavem jaderné fyziky AVČR a GANIL byla od 90.ých let zaměřena na studium exotických jader a na problémy jaderné astrofyziky. Současné záhady v jaderné astrofyzice začínají stále více potřebovat ke svému objasnění svazky radioaktivních iontů, které jsou v GANILU k dispozici a na jejichž vývoji se podílíme.

## Aktivace nabitými částicemi

Aktivace materiálů protony a deuterony jsou v České republice zkoumány pro technologické účely, budoucí energetiku i pro porozumění jaderným procesům již řadu let.

Vyšší energetický rozsah GANIL/SPIRAL2 a nově instalovaná zařízení dovolí měřit v oblastech, které u nás dosud nebyly dosažitelné.

## Neutronové zdroje

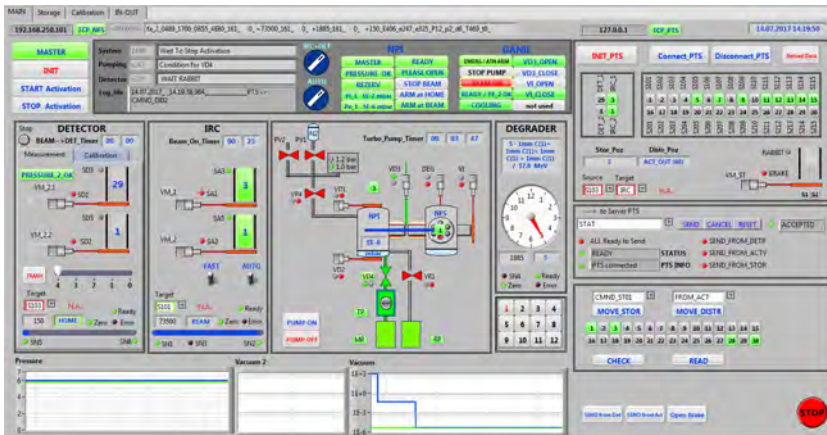
V ÚJF AVČR jsou v provozu unikátní zdroje rychlých neutronů, které jsou využívány pro měření aktivací materiálů a testy radiační odolnosti.

V laboratoři NFS spolupracujeme na budování obdobných zdrojů, které budou využívat intenzivní svazky urychlovače LINAC a kde pracoviště bude vybaveno halou ToF (Time of Flight) pro měření rychlostí neutronů.

## Radioizotopy s medicínským potenciálem

České týmy mají dlouhodobé zkušenosti s výzkumem, vývojem a výrobou radioizotopů, které se využívají v medicíně pro diagnostické či terapeutické účely. Lineární urychlovač SPIRAL2 bude moci dodávat velmi intenzivní svazky lehkých iontů o přesně požadovaných energiích, které jsou vhodné pro hledání nových typů radiodiagnostik a terapeutik.

# SPIRAL2-CZ - projekt podpory



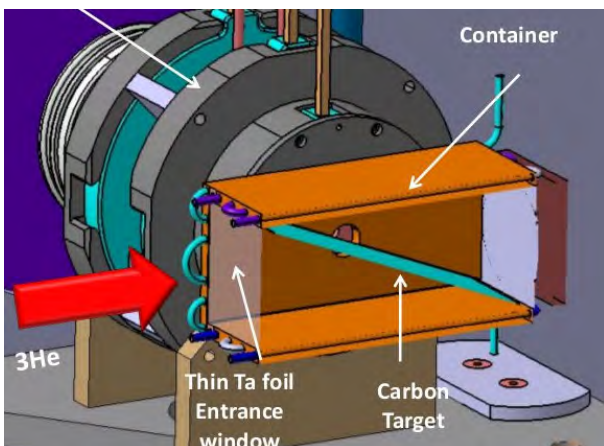
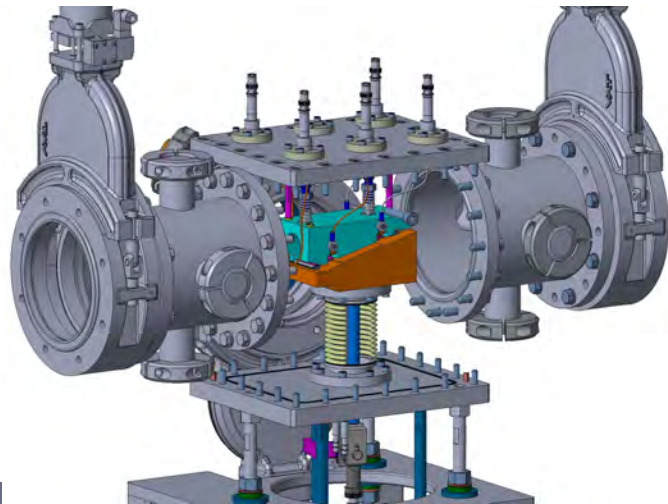
## Řídicí systém IC pro ovládání vakua a transport vzorků

Provoz ozařovací komory (Irradiation Chamber - IC, na fotce na předchozí straně) vyžaduje souhrn několika různých systémů: ovládání vakua, pojezdu vzorku, potrubní pošty, pozice detektoru, start měření.

Spolupráce je klíčová nejen pro úspěšné měření, ale také z hlediska bezpečného provozu a spolehlivosti zařízení.

## Terč pro výzkum radioizotopů pro medicínu

Intenzivní svazky alfa částic urychlovače LINAC umožní čistě produkovat krátkožijící izotopy, které mají potenciál v medicíně. Takovým izotopem je např.  $^{211}\text{At}$ , který lze vyrábět z bismutu. Nový terč umožní pokračování ve výzkumu účinnosti tohoto izotopu v medicíně.



## Terč pro produkci radioaktivních svazků

Radioaktivní svazky potřebné pro výzkum lze získat pomocí intenzivních svazků stabilních iontů. Ty dopadají na terč, kde se produkují různé radioaktivní jádra, které je třeba rychle (než se rozpadnou) vyextrahovat a znovu urychlit.

Česká republika pracuje na vývoji takového terče. Jeho pracovní jméno je ROBOT (Řež - Other Beams Other Targets).

## Projekt SPIRAL2-CZ

je podporou účasti České republiky při budování a využívání laboratoře světové GANIL/SPIRAL2. Projekt SPIRAL2-CZ je zahrnut na české národní mapě velkých infrastruktur pro výzkum, vývoj a inovace pro roky 2016-2022 a je financován kombinací veřejné podpory z národního rozpočtu a strukturálních fondů LM 2015076 a OP VVV č. 02\_16\_013. Předmětem projektu OP jsou investice do terčových zařízení souvisejících s českými prioritami.



EVROPSKÁ UNIE  
Evropské strukturální a investiční fondy  
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

